



**Liliana Cristina
Martins da Cunha**

**Contributo para o estudo hidrogeológico da Carta
19-D Coimbra - Lousã**



**Liliana Cristina
Martins da Cunha**

**Contributo para o estudo hidrogeológico da Carta
19-D Coimbra - Lousã**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Manuel Augusto Marques da Silva, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Em homenagem aos meus pais António e Alice,
Pelo sacrifício de toda uma vida

o júri

presidente

Professor Doutor Jorge Manuel Pessoa Girão
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

orientador

Professor Doutor Manuel Augusto Marques da Silva
professor catedrático da Universidade de Aveiro

vogal

Professor Doutor José Manuel Martins Azevedo
professor auxiliar da Universidade de Coimbra

agradecimentos

Por imperativo de consciência não posso deixar de expressar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, quer pelos ensinamentos transmitidos, quer pelo apoio recebido.

Destaco o Professor Manuel A. Marques da Silva, orientador deste mestrado, pelo acompanhamento paciente e interessado do trabalho, pelos frequentes conselhos, sugestões, correcções e pela disponibilidade manifestada para a discussão dos problemas surgidos.

Agradeço também ao Professor Jorge Medina, pelos esclarecimentos e auxílio prestados, quando foram necessários.

Um agradecimento especial à empresa Sondagens Neves, de Luís Miguel Ferreira das Neves, por possibilitar a realização deste trabalho disponibilizando dados da empresa, pelos incentivos e pela compreensão.

Ao Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro o meu reconhecimento pela oportunidade de desenvolver este trabalho. Uma palavra especial à Sr^a D^a. Graça Nogueira, pela ajuda na elaboração da parte cartográfica e outras.

Um especial reconhecimento, aos meus pais, irmã e restante família, por todo o apoio prestado durante o tempo que decorreu o trabalho, pela ajuda, carinho, disponibilidade e pela paciência de me terem aturado nos momentos mais difíceis.

Por fim agradeço a todas as pessoas e instituições que tornaram possível o presente trabalho, quer pela colaboração, encorajamento, compreensão, amizade, quer pela disponibilização de dados e outra “logística”.

Termino com um grande “muito obrigado” à Sandra Lopes, Cristina Neves, Ana, e muitas mais.

palavras-chave

Hidrogeologia; Coimbra; Lousã

resumo

Os recursos hídricos subterrâneos são, quer historicamente, quer nos dias de hoje, uma importante fonte de água para abastecimento urbano, industrial e agrícola. No entanto, estes recursos podem ser afectados, por um lado, por problemas relacionados com a sua sobre-exploração, e por outro, por problemas relacionados com a degradação da qualidade da água subterrânea captada.

Nas últimas décadas, assistiu-se a grande desenvolvimento da Hidrogeologia, ramo da Geologia Aplicada que trata do estudo das águas subterrâneas.

Na área da folha 19-D Coimbra - Lousã (escala 1:50 000), já foram elaborados alguns trabalhos parcelares. No entanto, nunca foi realizado um estudo que abarque a totalidade da área cartografada nessa folha.

Esta dissertação, que se insere no âmbito do desenvolvimento de uma tese de mestrado, pretende ser um primeiro esquisso nesse sentido. Mas esta primeira abordagem a diversos aspectos da hidrogeologia da carta 19-D ressentia-se de uma gritante falta de dados que tivesse permitido uma caracterização “mínima” da área em apreço. Por outro lado, a qualidade do material recolhido, é, infelizmente também, muito sofrível, senão mesmo deficiente.

Estas razões justificam o título da dissertação (“CONTRIBUTO”), até porque os prazos curtíssimos, impostos pelo “Regulamento” destas provas académicas, não possibilitaram a obtenção, em tempo útil, de dados laboratoriais ou de outra índole.

keywords

Hydrogeology; Coimbra; Lousã

abstract

The underground water resources are, either historically or nowadays, an important source of water to urban, industrial and agricultural supply. However, these resources may be affected, on the one hand, by problems related with its over-exploitation, and on the other hand, by problems related with the degradation of the underground water quality.

In the last few decades, there was a great development of Hydrogeology, a section of Applied Geology, which deals with the study of underground water.

In the area of the 19-D Coimbra - Lousã sheet (scale 1:50 000) have already been drawn up some piecemeal work. However, it was never carried out a study covering the entire area mapped in that sheet.

This dissertation, which falls within the development of a Ph. D's thesis, intends to be a first sketch in that direction. But this first approach to various aspects of the 19-D sheet hydrogeology shows a glaring lack of data, which had allowed a "minimum" characterization of the area in question. Moreover, the quality of the collected material is, unfortunately, very poor, otherwise even deficient.

These reasons justify the title of the dissertation ("CONTRIBUTION"), because the very short limits imposed by the "Regulation" of academic evidence, do not make possible the attainment, in useful time, of laboratory data or other kind.

ÍNDICE

<u>AGRADECIMENTOS</u>	<u>VIII</u>
<u>RESUMO</u>	<u>X</u>
<u>ABSTRACT</u>	<u>XI</u>
<u>ÍNDICE</u>	<u>XII</u>
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	<u>XVI</u>
<u>ÍNDICE DE TABELAS</u>	<u>XVII</u>
<u>SIMBOLOGIA</u>	<u>XX</u>
<u>PRÓLOGO</u>	<u>2</u>
<u>CAPÍTULO 1</u>	<u>3</u>
<u>CONSIDERAÇÕES GERAIS</u>	<u>3</u>
1.1 – DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS	3
1.2 – ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DE TRABALHO	23
1.3 – METODOLOGIA	24
<u>CAPÍTULO 2</u>	<u>25</u>
<u>HIDROGEOLOGIA – CONCEITOS GERAIS</u>	<u>25</u>
2.1 – INTRODUÇÃO	25
2.2 – CICLO HIDROLÓGICO	26
2.2.1 – PRECIPITAÇÃO ATMOSFÉRICA, EVAPORAÇÃO, TRANSPIRAÇÃO, ESCORRÊNCIA SUPERFICIAL E INFILTRAÇÃO	28
2.2.2 – HIDROSTRATIGRAFIA GERAL DOS DOMÍNIOS SUB-SUPERFICIAIS	32
2.2.2.1 – Zona não-saturada	32
2.2.2.2 – Zona Saturada	33
2.3 – AS ÁGUAS E OS MEIOS SUBTERRÂNEOS	34
2.3.1 – PROPRIEDADES HIDROLÓGICAS	34
2.3.1.1 – Porosidade	35
2.3.1.2 – Permeabilidade intrínseca	37
2.3.1.3 – Retenção e cedência específicas	38
2.3.1.4 – Armazenamento específico	40
2.3.1.5 – Meios confinados e não confinados – Coeficiente de armazenamento	40

2.3.1.6 – Lei de Darcy e condutividade hidráulica	41
2.3.1.7 – Heterogeneidade e anisotropia	43
2.3.1.8 – Transmissividade	43
2.4 - CLASSIFICAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DAS FORMAÇÕES ROCHOSAS	44
2.5 – UNIDADES E SISTEMAS AQUÍFEROS	45
2.5.1 – RECARGA E DESCARGA AQUÍFERAS	47

CAPÍTULO 3 **50**

ENQUADRAMENTO DA ÁREA EM ESTUDO **50**

3.1 – ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO	51
3.2 – ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO	52
3.2.1 – CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EM ESTUDO	52
3.2.1.1 – Geologia	54
3.2.1.1.1 – Maciço Hespérico	54
3.2.1.1.1.1 – Morfologia e Litologia	54
3.2.1.1.1.2 – Estrutura	55
3.2.1.1.1.3 – Hidrogeologia	56
3.2.1.1.1.3.1 – Rochas Duras do Maciço Hespérico	56
3.2.1.1.1.3.2 – Depósitos de cobertura no Maciço Hespérico	58
3.2.1.1.1.3.2.1 – Depósitos arcóscicos	58
3.2.1.1.1.3.2.2 – Depósitos aluvionares holocénicos	58
3.2.1.1.2 – Orla Mesoceno-zóica Ocidental	59
3.2.1.1.2.1 – Morfologia e Litologia	59
3.2.1.1.2.2 – Hidrogeologia	59
3.3 – AQUÍFEROS	61
3.3.1 – SISTEMA AQUÍFERO ALUVIÕES DO MONDEGO	63
3.3.1.1 – Estratigrafia e Litologia	63
3.3.1.2 – Tectónica	63
3.3.1.3 – Hidrogeologia	64
3.3.1.3.1 – Características Gerais	64
3.3.1.3.2 – Parâmetros Hidráulicos e Produtividade	64
3.3.1.3.3 – Análise Espaço – Temporal da Piezometria	64
3.3.1.3.4 – Balanço hídrico	65
3.3.1.3.5 – Qualidade	65
3.3.2 – SISTEMA AQUÍFERO: CONDEIXA – ALFARELOS	66
3.3.2.1 – Estratigrafia e Litologia	66
3.3.2.2 – Tectónica	67
3.3.2.3 – Hidrogeologia	68
3.3.2.3.1 – Características Gerais	68
3.3.2.3.2 – Parâmetros Hidráulicos e Produtividade	69
3.3.2.3.3 – Balanço Hídrico	70
3.3.2.4 – Qualidade	70
3.3.3 – SISTEMA AQUÍFERO: PENELA -TOMAR	71
3.3.3.1 – Estratigrafia e Litologia	71
3.3.3.2 – Tectónica	71

3.3.3.3 – Hidrogeologia	72
3.3.3.3.1 – Características Gerais	72
3.3.3.3.2 – Parâmetros Hidráulicos e Produtividade	72
3.3.3.3.3 – Balanço Hídrico	73
3.3.3.4 – Qualidade	73
CAPÍTULO 4	74
CLIMATOLOGIA	74
4.1 – TEMPERATURA	75
4.2 – PRECIPITAÇÃO	76
4.3 – INSOLAÇÃO, HUMIDADE RELATIVA, NEBULOSIDADE E NEVOEIRO	80
4.4 – VENTO	81
4.5 – BALANÇO HÍDRICO	82
CAPÍTULO 5	84
QUALIDADE DA ÁGUA	84
5.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA	85
5.1.1 – INTERACÇÃO ÁGUA – MINERAL	86
5.1.2 – CONSTITUINTES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	87
5.1.3 – FACTORES E AGENTES DETERMINANTES DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	89
5.1.3.1 – Naturais	89
5.1.3.2 – Antrópicos	90
5.1.4 – CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	92
5.1.4.1 – Classificação simples	92
5.1.4.2 – Classificação geoquímicas	93
5.2 – HIDROQUÍMICA ESTUDADA – COMPONENTES EM ANÁLISE E SUA PROVENIÊNCIA	98
5.2.1 – PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	99
5.2.1.1 – Cor	99
5.2.1.2 – Turvação	100
5.2.1.3 – Sabor e Cheiro	100
5.2.2 – PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	100
5.2.2.1 – Temperatura	102
5.2.2.2 – pH	103
5.2.2.3 – Condutividade eléctrica	104
5.2.2.4 – Sólidos Dissolvidos	105
5.2.2.5 – Dureza Total	106
5.2.2.6 – Alcalinidade	107
5.2.2.7 – Cloreto	107
5.2.2.8 – Sulfato	109
5.2.2.9 – Bicarbonato	110
5.2.2.10 – Nitrato	111

5.2.2.11 – Nitrito	113
5.2.2.12 – Sódio	114
5.2.2.13 – Potássio	115
5.2.2.14 – Cálcio	115
5.2.2.15 – Magnésio	115
5.2.2.16 – Sílica	116
5.2.2.17 – Alumínio	116
5.2.2.18 – Oxigénio dissolvido	117
5.2.2.19 – Ferro	119
5.2.3 - PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	121
5.2.3.1 - Coliformes totais	121
5.2.3.2 - Coliformes do tipo fecal	121
5.2.3.3 - Estreptococos fecais	122
5.2.3.4 - Clostrídios sulfitorredutores	122
5.3 – MÉTODOS PARA A CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	122
5.3.1 – DIAGRAMA DE PIPER	123
5.3.2 – DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF	124
5.3.3 – DIAGRAMA DE STIFF	124
CAPÍTULO 6	125
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	125
6.1 – ANÁLISES DE DADOS.	125
6.1.1 – INVENTÁRIO DE PONTOS DE ÁGUA.	125
6.1.2 – SISTEMAS AQUÍFEROS.	127
6.1.3 – SUPERFÍCIE PIEZOMÉTRICA (ESBOÇO).	127
6.2 – ANÁLISES DE DADOS DE PRODUTIVIDADE.	109
6.2.1 – DIAGRAMAS DE PIPER.	112
6.2.2 – DIAGRAMAS DE STIFF.	114
6.2.3 – DIAGRAMAS DE SCHOELLER - BERKALLOF.	118
6.2.4 – OUTROS PARÂMETROS.	120
6.3 – CLASSIFICAÇÕES.	120
CAPÍTULO 7	121
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	121
7.1 – CONCLUSÕES	121
7.2 – RECOMENDAÇÕES	123
ANEXOS	
BIBLIOGRAFIA	

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – ESQUEMA DO CICLO HIDROLÓGICO.	6
FIGURA.2.2 – SEGMENTOS DA HIDROLOGIA SUPERFICIAL E SUB-SUPERFICIAL.	7
FIGURA.2.3.–.MAPA DE PRECIPITAÇÃO ANUAL MÉDIA EM PORTUGAL CONTINENTAL.	9
FIGURA 2.4 – ZONAS ATRAVESSADAS PELA ÁGUA .	12
FIGURA 2.5 – ESQUEMA DA PERMEABILIDADE E POROSIDADE.	16
FIGURA 2.6 – ESQUEMA EXPLICATIVO DOS DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA	39
FIGURA 2.7 – ESQUEMA COM OS DIFERENTES TIPOS DE AQUÍFEROS .	47
FIGURA 2.8 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DA RECARGA AQUÍFERO	48
FIGURA 3.1 – ÁREA EM ESTUDO NAS CARTAS MILITARES.	51
FIGURA 3.2 – MAPA COM AS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.	52
FIGURA 3.3 – ÁREA EM ESTUDO NA CARTA GEOLÓGICA 19-D COIMBRA – LOUSÃ À ESCALA 1:50 000.	54
FIGURA 3.4 – ESQUEMA DOS AQUÍFEROS PERTENCENTES À ZONA EM ESTUDO.	61
FIGURA.3.5 – LEGENDA DOS AQUÍFEROS PERTENCENTES À ÁREA EM ESTUDO.	62
FIGURA.4.1 – VALORES DE PRECIPITAÇÃO	77
FIGURA.4.2.–.PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DAS ESTAÇÕES TAVEIRO, CONDEIXA - A - NOVA E LOUSÃ.	80
FIGURA 4.3 – VELOCIDADE MÉDIA MENSAL, VELOCIDADE MÁXIMA HORÁRIA E RAJADA MÁXIMA DO VENTO REGISTADOS NAS ESTAÇÕES DO IGUC.	81
FIGURA 5.1 – GRÁFICO DA CLASSIFICAÇÃO SAR.	93

FIGURA 6.1 – CARTA GEOLOGIA 19-D COIMBRA - LOUSÃ, COM A MARCAÇÃO DOS FUIROS EM ESTUDO.	126
FIGURA 6.2 – ESBOÇO PIEZOMÉTRICO.	128
FIGURA 6.3 – HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIAS COM AMPLITUDE DE 3,565 L/M.S.	110
FIGURA 6.4 – HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIAS COM AMPLITUDE DE 0,296 L/M.S.	111
FIGURA 6.5 – DIAGRAMA DE PIPER	113
FIGURA 6.6 – FUIRO 93/241	115
FIGURA 6.7 – FUIRO 94/241	115
FIGURA 6.8 – FUIRO 95/241	115
FIGURA 6.9 – FUIRO 96/241	116
FIGURA 6.10 – FUIRO 97/241	116
FIGURA 6.11 – FUIRO 98/241	116
FIGURA 6.12 – FUIRO 99/241	116
FIGURA 6.13 – FUIRO 118/241	117
FIGURA 6.14 – REPRESENTAÇÃO DAS ÁGUAS	119

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 – VALORES MÉDIOS DE POROSIDADE.	36
TABELA.2.2.–VALORES DE PERMEABILIDADE INTRÍNSECA E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA PARA VÁRIOS MATERIAIS NÃO CONSOLIDADOS.	38
TABELA.2.3.–VALORES DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA PARA MATERIAL CONSOLIDADO E NÃO CONSOLIDADO	43
TABELA 2.4 – CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS QUANTO À PERMEABILIDADE	45
TABELA 4.1–TABELA DE VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAIS E ANUAIS NA ESTAÇÃO TAVEIRO (12G/03).	78
TABELA 4.2 –.TABELA DE VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAIS E ANUAIS NA ESTAÇÃO CONDEIXA (13G/02).	79
TABELA 4.3 –.TABELA DE VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAIS E ANUAIS NA ESTAÇÃO DA LOUSÃ (13H/03)	79
TABELA 4.4 – TABELA COM UM B. HIDROLÓGICO SEQ. MENSAL	62
TABELA 5.1 – PRINCIPAIS SUBSTÂNCIAS D. NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.	88
TABELA 5.2 – PARÂMETROS FÍSICO - QUÍMICOS RELATIVOS À QUALIDADE DA ÁGUA (ADAPTADO DO DECRETO-LEI 236/98, DE 1 DE AGOSTO).	97
TABELA 5.3 – CORRELAÇÃO DOS IÕES COM A DUREZA DA ÁGUA.	106
TABELA 6.1 – TABELA DE FREQUÊNCIAS ABSOLUTAS PARA UMA AMPLITUDE DE 3,565 L/S.M.	129
TABELA 6.2 – TABELA DE FREQUÊNCIAS ABSOLUTAS PARA UMA AMPLITUDE DE 0,296 L/S.M.	111
TABELA 6.3 – TABELA DE VALORES DE COMPOSTOS QUÍMICOS, PARA O DIARAMA DE PIPER	112
TABELA 6.4 – “COR” DOS FUROS DE QUE FORAM OBTIDAS ANÁLISES DE ÁGUA	113
TABELA 6.5 – TABELA DE VALORES DE COMPOSTOS QUÍMICOS, PARA O DIARAMA DE STIFF	114

TABELA 6.6 – TABELA DE VALORES DE COMPOSTOS QUÍMICOS, PARA O DIARAMA DE SCHOELLER - BERKALLOF	118
---	-----

ÍNDICE DE FOTOS

FOTO 1 – COMPLEXO XISTO-GRAUVÁQUICO (GRUPO DAS BEIRAS).	55
---	----

FOTO 2 – ARENITOS DO TRIÁSICO.	59
--------------------------------	----

SÍMBOLOGIA

E + T – Evapotranspiração

E1 – Evaporação da Precipitação

E2 – Evaporação da Retenção hídrica superficial

E3 – Evaporação da retenção hídrica sub-superficial

T – Transpiração

Rsup – Escoamento superficial (Runnof)

I – Infiltração

I1 – Infiltração Directa

I2 – Infiltração indirecta a partir da cobertura vegetal

Ef – Exfiltração (circulação de água do substrato para a superfície, D2)

Iprof – Infiltração profunda (Recarga aquífera)

S_r – Retenção específica

pH₂O – Pressão da água

pAtm – Pressão atmosférica

n_t – Porosidade total

V_v – Volume de vazios ou poros

V_t – Volume total

n_e – Porosidade efectiva

m_e – Capacidade de retenção específica

V_{vi} – Volume de vazios interligados

K – Permeabilidade intrínseca

Cu – Coeficiente de uniformidade

V_r – Volume de água retida

V_d – Volume de água drenada por gravidade (Água livre)

S_y – Cedência específica

Δh - Diferença entre os níveis da água à entrada e à saída, respectivamente (m)

L – Distância percorrida pela água (m)

K.(Δh/L) - Velocidade de Darcy - Velocidade real (v). Porosidade eficaz (n_e)

(Δh/L) - Gradiente hidráulico (i) adimensional

K – constante – Condutividade hidráulica do meio poroso (m.s⁻¹)

b – espessura do aquífero (m)

S.A.R – Sodium adsorption ratio

Inag – Instituto Nacional da Água

VMR – Valor Máximo Recomendável

VMA – Valor Máximo Admissível

Ineti – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P.

SNIRH – Sistema Nacional de Recursos Hídricos

PRÓLOGO

A água é indispensável à vida e ao equilíbrio ambiental na Terra. Nas últimas décadas assistiu-se ao seu consumo crescente e também à sua degradação progressiva.

A água é um bem fundamental e extremamente necessário para qualquer tipo de vida. Daí um crescente aprofundar do conhecimento científico em relação à origem, estado físico, locais de circulação e armazenamento dos corpos e sistemas hídricos.

A gestão dos recursos hídricos tem evoluído também com uma importância crescente na sociedade actual, face à elevada dependência humana deste recurso natural, às limitadas reservas existentes no planeta e à escassez crescente muitas vezes resultante da sua utilização descuidada.

A problemática geral da água na Terra está consubstanciada do importantíssimo conceito designado por CICLO HIDROLÓGICO. De todas as parcelas deste Ciclo da Água, duas há que o Homem utiliza de forma mais ou menos generalizada em todo o mundo e desde sempre: o ESCOAMENTO SUPERFICIAL (concretamente a “água dos rios”) e o ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO (a água do fluxo subterrâneo).

Apesar de NÃO serem observadas directamente (e talvez por isso mesmo), as águas subterrâneas nem sempre são “respeitadas” devidamente e, no entanto, tendo em conta as quantidades globais para todo o planeta, as reservas hídricas subterrâneas constituem cerca de 5 000 vezes a água fluvial que, instantaneamente, circula nas redes hidrográficas. (Na Europa as águas subterrâneas constituem cerca de 65% da água destinada ao consumo humano). Esta disparidade, infelizmente tantas vezes desconhecida quer do grande público, quer dos poderes decisórios (políticos, essencialmente), justifica plenamente a elaboração desta dissertação.

CAPÍTULO 1

Considerações Gerais

- 1.1 – Definição de objectivos.
- 1.2 – Organização e estrutura do trabalho.
- 1.3 – Metodologia.

1.1 – Definição de objectivos

O principal objectivo deste trabalho é a análise hidrogeológica geral da área representada na Carta Geológica 19-D Coimbra - Lousã.

Para se ter uma ideia da importância dos recursos hidrogeológicos desta área, basta considerar que cerca de 90% dos consumos de água da Região Centro são satisfeitos com águas subterrâneas (CCDRC, 1995).

Os aproveitamentos com águas superficiais existentes nesta região (irrigação agrícola), serão mais conhecidos dada a sua visibilidade. Mas quando se têm em conta os volumes utilizados, nas várias aplicações da água, em toda a área, e se conclui que 90% dos consumos são satisfeitos com águas subterrâneas, é que se pode avaliar a grande importância destes recursos “invisíveis”.

Este carácter de “recurso escondido” tem, por isso mesmo, um óbice: são precisos dados específicos para se proceder a uma caracterização adequada. E a recolha de dados efectuada revelou-se muito pobre. Por isso o objectivo de caracterizar a hidrogeologia da área cartografada na carta 19-D se deve considerar, desde já, como incipiente.

1.2 – Organização e estrutura de trabalho

O trabalho encontra-se dividido em sete capítulos, que sumariamente se descrevem:

No Capítulo 1, são feitas considerações gerais tais como: objectivos, organização e estrutura do trabalho.

No Capítulo 2, apresenta-se um resumo de vários conceitos hidrogeológicos gerais.

No Capítulo 3, fez-se o enquadramento geográfico e geológico da área em estudo.

No Capítulo 4, descreveu-se os conceitos a nível de qualidade da água.

No Capítulo 5, faz-se uma análise climatológica da área em estudo.

No Capítulo 6, é realizada a caracterização hidrogeológica geral da área, apresentação de processos e interpretações que são um contributo para o conhecimento da Hidrogeologia/Geologia da Zona da Carta Geológica 19-D Coimbra - Lousã.

Por fim, no Capítulo 7, são apresentadas as conclusões e recomendações finais do trabalho.

1.3- Metodologia

Inicialmente foi efectuado um levantamento dos furos realizados em onze anos de existência da empresa Sondagens Neves (de Luís Miguel Ferreira Neves), empresa de construção de captações de águas subterrâneas. Desse levantamento, só se tiveram em conta os furos que se encontravam localizados dentro da área em estudo (Carta Geológica 19-D Coimbra - Lousã). Ao analisar os dados obtidos nesta recolha, chegou-se à conclusão serem manifestamente insuficientes, havendo mesmo inexistência de elementos básicos, tais como falta de coordenadas para localização dos furos, níveis hidrostáticos e/ou hidrodinâmicos, cotas de água, caudais, etc., etc. A nível da qualidade da água pode dizer-se que praticamente não havia sequer dados de qualquer análise química ou até de algum parâmetro avulso. Esta falta de dados tem algumas razões de fundo, sendo a mais decisiva, certamente, o facto de, antigamente, não existir obrigação, por parte das empresas de construção de captações de água, de fornecer estes elementos à antiga CCDRC (Centro de Coordenação e Desenvolvimento da Região Centro), agora ARH - Centro, I.P. (Administração da Região Hidrográfica do Centro, Instituto Público).

Perante esta situação de falta de dados, foram feitas diligências, nomeadamente junto da CCDR-C, tendo sido obtidos alguns dados sobre a qualidade da água, níveis e caudais.

Por outro lado, foi feito algum trabalho de campo, nomeadamente no que concerne a valores de níveis e, aspecto que se tem de considerar importante, decidiu-se estabelecer como regra do *modus operandi* da citada empresa, a obrigatoriedade de medição de níveis, de temperatura, pH e condutividade da água em todos os trabalhos futuros.

Esta carência de dados justifica um primeiro comentário: a informação recolhida é tão escassa e, também, de qualidade tão sofrível que este trabalho só pode ser considerado como um primeiro esboço da Hidrogeologia da área da Carta 19-D, o que se concretiza no próprio título de “*Contributo*”.

CAPÍTULO 2

Hidrogeologia – Conceitos gerais

- 2.1 – Introdução
- 2.2 – Ciclo Hidrológico
 - 2.2.1 – Precipitação atmosférica, Evaporação, Transpiração, Escorrência superficial e Infiltração
 - 2.2.2 – Hidrostratigrafia geral dos domínios sub-superficiais
 - 2.2.2.1 – Zona não-saturada
 - 2.2.2.2 – Zona Saturada
- 2.3 – As águas e os meios subterrâneos
 - 2.3.1 – Propriedades hidrogeológicas
 - 2.3.1.1 – Porosidade
 - 2.3.1.2 – Permeabilidade intrínseca
 - 2.3.1.3 – Retenção e cedência específicas
 - 2.3.1.4 – Armazenamento específico
 - 2.3.1.5 – Meios confinados e não confinados - Coeficiente de armazenamento
 - 2.3.1.6 – Lei de Darcy e condutividade hidráulica
 - 2.3.1.7 – Heterogeneidade e anisotropia
 - 2.3.1.8 – Transmissividade
- 2.4 – Classificação hidrogeológica das formações rochosas
- 2.5 – Unidades e sistemas aquíferos
 - 2.5.1 – Recarga e descarga aquíferas

2.1 – Introdução

A Terra é o planeta do sistema solar que contém água em maior abundância. Todas as estimativas apontam para uma quantidade de água na Terra de, aproximadamente, igual a 1400 milhões de km³, sendo a maior percentagem, cerca de 97 %, salgada e só uma pequena percentagem, cerca de 2,5% água doce.

Esta pequena percentagem de água doce é correspondente aos glaciares e gelos existentes no Ártico e Antártico, rios, lagos e às águas subterrâneas. Dessa reduzida parcela de água doce disponível, aproximadamente 95% são reservas existentes no subsolo. Consequentemente, é inegável o valor efectivo de água subterrânea e a sua importância estratégica.

2.2 – Ciclo Hidrológico

É do conhecimento geral que a água na Natureza segue um processo dinâmico, não só porque muda de estado, mas também porque se movimenta em diferentes meios (Atmosfera, Litosfera e Biosfera). A este processo dinâmico damos o nome de Ciclo Hidrológico (Figura 2.1). A energia que permite todo o movimento do Ciclo Hidrológico é fundamentalmente a energia solar.

A hidrodinâmica terrestre funciona em ciclo uma vez que se um meio perde água, essa água acaba por ser repostada havendo, por isso, uma igualdade de perdas e ganhos. Assim, muito embora não se possa considerar um princípio ou um fim para o Ciclo Hidrológico, pode estipular-se que seja a Atmosfera o início do processo cíclico.

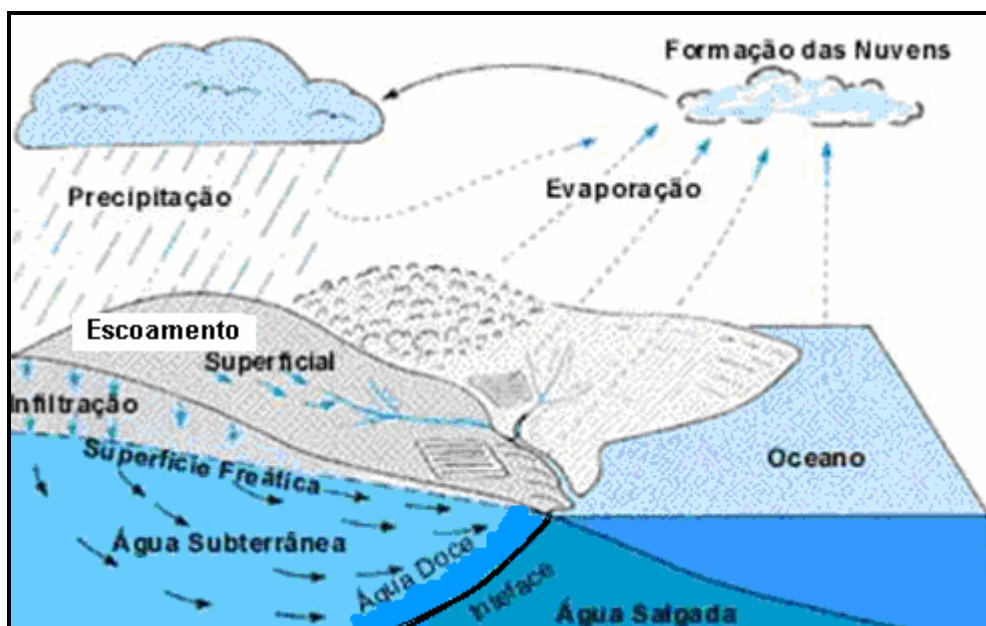


Figura 2.1 – Esquema do Ciclo Hidrológico.

É na Atmosfera que se acumula o vapor de água que, por condensação, forma as nuvens, as quais estão na origem das precipitações: chuva, granizo e neve. Nem toda a água precipitada alcança a superfície terrestre, já que uma parte, na sua queda, volta a evaporar-se, regressando à atmosfera. Alguma água é interceptada pelas folhas das plantas e pelos telhados, sendo evaporada e voltando também à atmosfera. A parte mais significativa – precipitação efectiva – atinge a superfície da Terra, uma parte da precipitação que atinge a superfície terrestre fica retida nela (Retenção superficial), dando origem à evaporação directa e, a que circula devido à gravidade, dá origem ao designado escoamento superficial,

consubstanciado em especial nas redes hidrográficas, onde pode evaporar-se ou atingir os oceanos, os quais constituem a maior fonte de evaporação. Outra fracção infiltra-se, penetra no solo e subsolo, alimentando as águas subterrâneas. A água que se infiltra no solo está também sujeita à evaporação directa a partir do solo e/ou é utilizada pela cobertura vegetal, que através da transpiração a devolve à atmosfera; ou, ainda, volta à superfície, acabando por atingir os rios e os oceanos fechando o Ciclo (Figura 2.2).

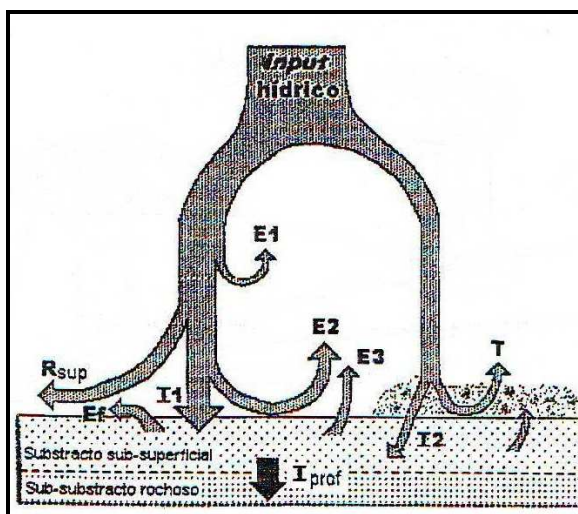


Figura. 2.2 - Segmentos da hidrologia superficial e sub-superficial (adaptado de Azevedo 2001).

E + T – Evapotranspiração

E1 – Evaporação da Precipitação

E2 – Evaporação da Retenção hídrica superficial

E3 – Evaporação da retenção hídrica sub-superficial (humidade do solo)

T – Transpiração

Rsup – Escoamento superficial (Runnof)

I – Infiltração

I1 – Infiltração Directa

I2 – Infiltração indirecta a partir da cobertura vegetal

Ef – Exfiltração (circulação de água do substrato para a superfície, D2)

Iprof – Infiltração profunda (Recarga aquífera)

A água infiltrada irá constituir a água subterrânea que é objecto de estudo da Hidrogeologia. Segundo RODRIGUES (1993) a quantidade de água armazenada no meio saturado é da ordem de $8 \times 10^5 \text{ km}^3$, sendo metade de boa qualidade, com teores em sais aceitáveis e a outra metade além dos limites admissíveis. A água subterrânea apresenta uma dinâmica específica podendo evoluir em diversas direcções: pode retornar à superfície, pode ser consumida por evaporação directa do solo, pela transpiração das plantas ou por extracção do Homem, ou então alimentar os reservatórios mais profundos e seguir um percurso mais longo que poderá terminar com o seu retorno à superfície ou circulação subterrânea até aos oceanos.

2.2.1 - Precipitação atmosférica, Evaporação, Transpiração, Escorrência superficial e Infiltração

A dinâmica das águas superficiais constitui um ciclo menor ou sub ciclo do Ciclo Hidrológico. Inicia-se com a precipitação atmosférica que corresponde ao processo fundamental deste sub-ciclo, na sua infiltração e no seu retorno novamente à superfície. A **precipitação atmosférica** tem origem na condensação da humidade atmosférica e na coalescência de gotas. Os factores que influenciam directamente a precipitação são: latitude, altitude, microclimas e as próprias características da superfície terrestre (Oceano, Continente, Relevo, Exposição solar e outros). Pode ocorrer como condensação de vapor em contacto com a superfície dos terrenos e das plantas ou decorrente da intercepção de nevoeiros e neblinas. Assim a precipitação pode classificar-se em precipitação oculta, precipitação visível e precipitação efectiva (Azevedo, 1998). A precipitação efectiva é igual à precipitação total menos a intercepção.

Em Portugal continental as principais precipitações ocorrem normalmente entre Outubro e Abril. No restante período do ano são reduzidas ou praticamente inexistentes. A altitude e a latitude são comprovadamente os factores determinantes na distribuição da precipitação em Portugal como se pode apreciar pela (Figura 2.3).

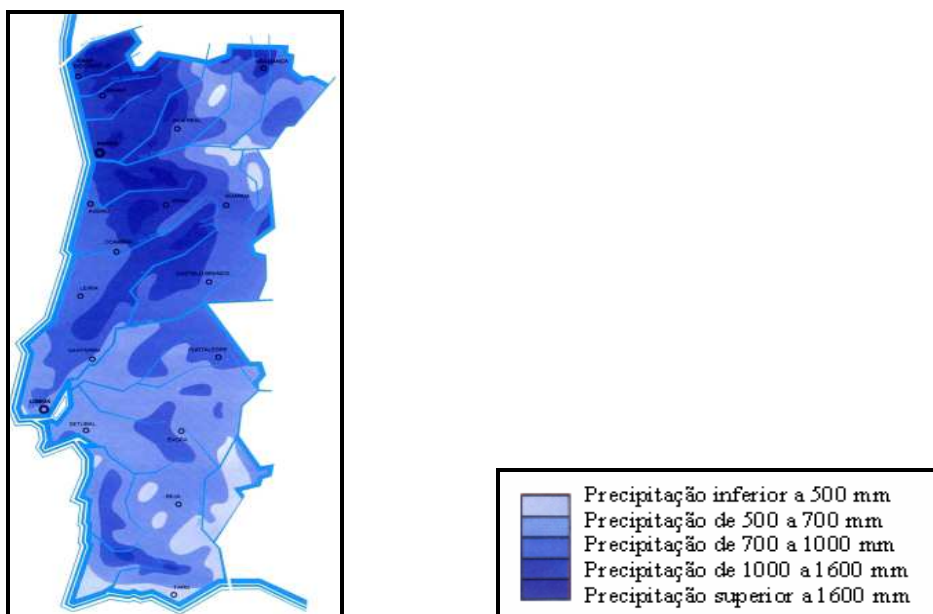


Figura 2.3 – Mapa de precipitação anual média em Portugal Continental (adaptado de Rodrigues, 1993).

A **evaporação** tem origem na libertação de moléculas de água a partir de corpos de água superficiais e sub-superficiais. Os processos geradores têm início no aumento de temperatura que, por sua vez, leva a um aumento da energia cinética das moléculas de água, à superação da tensão superficial e à sua libertação na forma de vapor de água. Os factores que a influenciam são: a temperatura (varia com a latitude, estação do ano, hora do dia, nebulosidade, exposição solar e altitude), a pressão atmosférica, pressão parcial de água, humidade atmosférica e vento. A quantificação é feita instrumentalmente através de evaporímetros (Piche) ou tina evaporimétrica. Pode ser estimada através de: (1) balanço hidrológico, (2) transferência de massa, (3) balanço energético, ou através de equações empíricas.

No que concerne à **transpiração**, esta significa a transferência de água da superfície e sub-superfície para a atmosfera através do metabolismo das plantas. Os factores que influenciam este parâmetro são climáticos e vegetativos.

Normalmente determina-se evaporação e transpiração em conjunto por ser muito difícil, na prática, separar os dois fenómenos. Por isso se criou o termo **evapotranspiração**. Esta parcela do Ciclo Hidrológico pode ser potencial ($ET_{\text{potencial}}$) – total máximo de água que, em termos teóricos, pode voltar à atmosfera – e real (ET_{real}) – quantidade que efectivamente passa, na forma de vapor, à atmosfera, em função da disponibilidade

existente. A quantificação da evapotranspiração pode também ser: instrumental (Evapotranspirómetros ou Lisímetros), por balanços energéticos, ou por fórmulas como as de Penman e de Thornthwaite. A unidade de ET é o mm (correspondente a l/m^2 , tal como a unidade da precipitação).

Segundo Rodrigues (1993) em Portugal continental a evapotranspiração potencial é maior na metade Sul do país onde as temperaturas são mais elevadas e a insolação maior. Se, pelo contrário, não existe toda a água que seria necessária para ET se processar em toda a sua plenitude, então esta terá um valor inferior e designa-se por ET_{real} (a que é possível existir face à água disponível). Quando não existe toda a água necessária para a $ET_{potencial}$, diz-se que há défice. Nestas circunstâncias, ou se adiciona água sob a forma de rega ou a vegetação entrará em declínio que poderá progredir até ao seu emurchecimento que pode ser definitivo. A evaporação real em Portugal continental é maior na metade Norte, porque existe maior disponibilidade de água, em especial na região do Minho onde atinge valores muito elevados. Assim, as necessidades de rega são muito maiores no Sul e Trás-os-Montes do que na região do Minho.

A **escoatência superficial** ocorre sempre que o valor da precipitação ultrapassa a capacidade de infiltração e a capacidade de retenção superficial da água. Processa-se em toda a área das bacias hidrográficas e concentra-se num sistema de linhas de água, ou – sistema de drenagem – fluindo por uma única saída – secção de referência. A água do escoamento superficial está condicionada pelas características da bacia hidrográfica, a nível de área de drenagem e perímetro, forma, relevo, geologia, solo, cobertura vegetal, taxa de urbanização e parâmetros climatológicos. Assim existem várias formas de escoamento:

- Escoamento superficial de Horton
- Escoamento sub-superficial no solo (Throughflow) e na interface solo-substrato (Interflow)
- Escoamento de exfiltração
- Escoamento na linha de água

Os factores que influenciam directamente a escoatência são:

- Clima (quantidade e regime de precipitação) leva a escoatência elevada em regiões semi-áridas com precipitações intensas.
- Substrato: Rochoso (estrutura e grau de alteração)

Solo (estrutura - textura).

Quanto maior a porosidade e permeabilidade do substrato, maior a infiltração e menor a escorrência superficial.

- Topografia – morfologia da rede de drenagem (capacidade de retenção superficial)
- Ocupação do solo

Cobertura vegetal (tipo e densidade)

escorrência elevada em terrenos “despidos”

nas zonas de agricultura só ocorre escorrência superficial em momentos de grandes chuvadas

Cobertura Urbana (acentuada impermeabilização da superfície)

A **infiltração** corresponde à passagem da água da superfície para a sub-superfície. Esta fracção hídrica vai armazenar-se no solo ou evoluir neste meio pluridireccionalmente – difusão – ou em sentido descendente - percolação. Depende dos seguintes factores:

- Características do substrato sub-superficial (solo)
 - Composição e espessura
 - Textura
 - Estrutura
 - Nível de compactação (agricultura)
 - Grau de humidade
 - Presença de raízes e/ou animais
 - Grau de ocupação/impermeabilização
- Características da cobertura vegetal
- Regime de duração da precipitação
- Capacidade de Intercepção e Retenção hídricas superficiais

Desta forma, os solos mais arenosos e mais aplanados, os terrenos mais secos e a precipitação mais dispersa no tempo são factores que contribuem para uma maior infiltração e, consequentemente, para menor escorrência superficial. As grandes chuvadas, mesmo as de curta duração, dão normalmente origem a grande escoamento superficial e a reduzida infiltração. Esta fracção hídrica vai armazenar-se no subsolo.

2.2.2 – Hidrostratigrafia geral dos domínios sub-superficiais

Durante o percurso descendente, uma importante fracção de água atravessa diversos domínios geológicos com características próprias, até encontrar um limite impermeável. Esta fracção é denominada por água livre ou gravítica por oposição à água de retenção. Uma vez encontrada essa zona impermeável, a água preenche totalmente os poros e as fissuras das rochas, formando um domínio saturado. O limite entre o meio saturado e o meio não-saturado designa-se por nível freático. A sua profundidade varia com a época do ano (chuvosa, seca), isto é, aproxima-se da superfície topográfica quando a pluviosidade é maior e aumenta nas estações mais secas. Varia também com a topografia da região e com a permeabilidade do solo e das rochas. Assim, o nível freático separa duas zonas: zona de aeração ou não-saturada e zona saturada também designada zona freática (Figura 2.4).

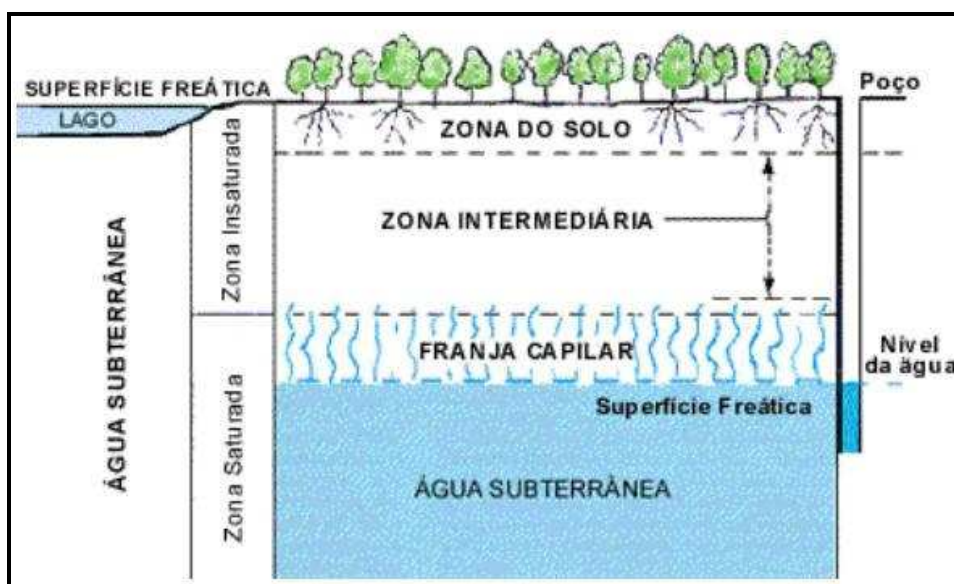


Figura.2.4 – Zonas atravessadas pela água (adaptado de Rodrigues, 1998).

2.2.2.1 – Zona não-saturada

Situa-se acima do nível freático e nela distinguem-se três subzonas: **zona de evapotranspiração**, **zona de retenção** ou **intermédia** e **franja capilar** ou **zona capilar**.

Assim temos:

A **zona de evapotranspiração** é o estrato superior onde se situam as raízes das plantas. Devido a isso, perde água por transpiração e por evaporação directa da água do solo. A sua

espessura é de cerca de 2 m, podendo, no entanto, variar consoante a capacidade das plantas desenvolverem raízes mais ou menos profundas na procura de água. A quantidade de água retida pode variar entre teores muito baixos até mesmo à saturação, logo após grandes chuvadas. A evapotranspiração depende da temperatura do ar, do regime dos ventos, da cobertura vegetal, da humidade atmosférica e da intensidade de iluminação;

A **zona intermédia ou de retenção** situa-se abaixo da zona de evapotranspiração. A quantidade de água retida nesta zona corresponde normalmente à retenção específica (S_r) do meio, pois os terrenos contêm o máximo de água de ligação. De uma forma simples, pode dizer-se que a cada gota adicionada na parte superior desta zona, corresponde outra gota libertada inferiormente para a zona de saturação. Sempre que a quantidade de água infiltrada seja superior à quantidade de água necessária para a evapotranspiração e à capacidade de retenção o excesso passará para a zona intermédia. A espessura desta zona depende de vários factores, sendo por isso muito variável. A pressão da água é menor que a pressão atmosférica.

A **franja capilar** é uma zona relativamente estreita. No entanto, pode variar de espessura consoante a natureza dos terrenos. Neste domínio a água está em constante movimento, descendente, por acção da força da gravidade ou ascendente, por acção das forças da capilaridade que actuam entre partículas e micro-fissuras adjacentes. Quando o meio está saturado a pressão da água na superfície superior de saturação é igual à pressão atmosférica.

A quantidade de água varia entre um mínimo, no contacto com a zona intermédia e um máximo, no contacto com a zona saturada.

2.2.2.2 - Zona Saturada

A **zona saturada** é assim designada porque todos os poros e interstícios interconectados da rocha se encontram saturados. Com água, constitui um domínio aquífero, cuja espessura varia em função da profundidade do substrato impermeável sobre o qual se desenvolve. A água contida nesta zona designa-se por água subterrânea, enquanto que a água contida na zona de aeração se denomina água edáfica. As águas subterrâneas são, portanto, águas de infiltração profunda que, quando encontram uma camada impermeável, preenchem os poros e fissuras das rochas suprajacentes saturando-as. A pressão da água nestes domínios

é maior que a pressão atmosférica: a altura da coluna de água acima de qualquer ponto que se queira considerar dá o valor da pressão nesse ponto. O limite entre a franja capilar e a zona saturada não é estático, verificando-se uma variação mais significativa em função das condições meteorológicas locais da quantidade de água que se consegue infiltrar.

O limite superior da Zona saturada é o nível freático ($p_{H_2O} = p_{Atm}$). Este limite pode ser quantificado em poços ou furos (piezómetros) e corresponde à cota do ponto em relação a um nível de referência (por exemplo o nível médio das águas do mar) - cota piezométrica. O lugar geométrico dos pontos onde a pressão na água é igual à pressão atmosférica designa-se por superfície piezométrica.

Assim, pode dizer-se que a grande fracção das águas sub-superficiais se situa na zona saturada (todos os espaços estão preenchidos por água).

Embora toda a água que evolui nos domínios sub-superficiais seja evidentemente subterrânea, na Hidrogeologia clássica a denominação água subterrânea é atribuída apenas à água que circula na zona saturada, isto é, nos domínios situados abaixo da superfície freática.

2.3 – As águas e os meios subterrâneos

Após a análise de alguns conceitos importantes para um estudo Hidrogeológico, é necessário outras informações sobre o armazenamento, a circulação e a interacção entre a água e as formações geológicas. A classificação hidrológica das rochas, bem como as noções de aquífero e seus tipos principais, de cota piezométrica, de gradiente hidráulico são elementos fundamentais que são analisados de seguida.

2.3.1 – Propriedades hidrológicas

As águas subterrâneas encontram-se a preencher os espaços “vazios” que existem nas formações rochosas. A quantidade de água que pode existir no interior de uma dada rocha depende, portanto, do volume global desses espaços. Em Hidrogeologia é muito importante caracterizar e naturalmente quantificar esses volumes, para tal é necessário avaliar diversos parâmetros.

2.3.1.1 – Porosidade

A **porosidade total** (n) é um dos parâmetros característicos dos solos e das rochas que está intimamente ligado com a sua capacidade de armazenamento hídrico. Esta propriedade pode ser definida como a relação entre o volume total de vazios ou poros e o volume total da amostra. Normalmente os valores (adimensionais) são apresentados em percentagem.

$$n_t = \frac{V_v}{V_t}$$

n_t – porosidade total

V_v – Volume de vazios ou poros

V_t – Volume total

n_e – porosidade efectiva

m_e – capacidade de retenção específica

$$n_t = n_e + m_e$$

A determinação da porosidade pode ser feita em laboratório segundo técnicas relativamente simples. As rochas consolidadas são mais fáceis de ensaiar que as rochas inconsolidadas, porque nestas é difícil manter a forma das amostras sem alterar a porosidade que a rocha tem *in situ*. A porosidade depende da dimensão e arranjo dos grãos, assim como da granulometria (usualmente avaliada através do coeficiente de uniformidade). Se os grãos são de tamanho variado, a porosidade tende a ser menor do que no caso de grãos tendencialmente uniformes, porque os grãos pequenos ocupam os espaços vazios entre os maiores.

Por vezes consideram-se dois tipos de porosidade: a primária e a secundária.

A primária refere-se ao conjunto de “vazios” da formação geológica quando se dá a sua génese. A porosidade secundária tem a ver com as alterações posteriores.

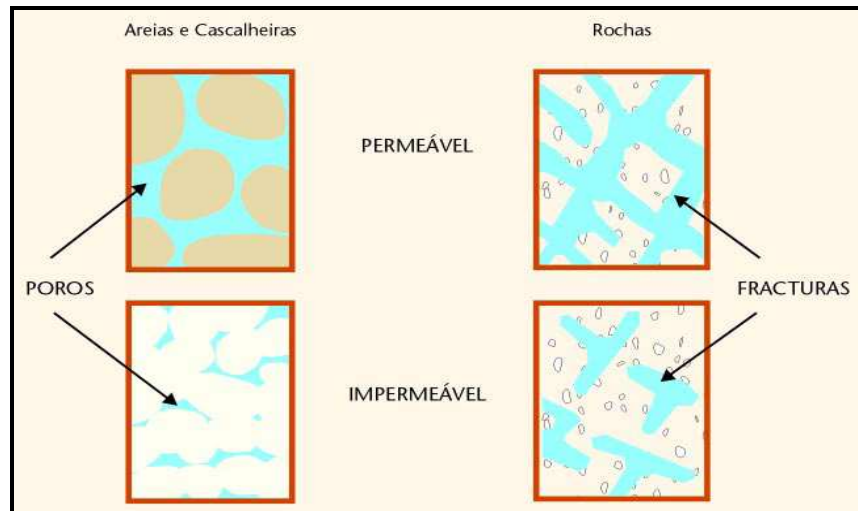


Figura 2.5 – Esquema da Permeabilidade e Porosidade.

Os valores médios de porosidade determinados para diversos tipos litológicos apresentam-se na Tabela 2.1.

Tipos Litológicos		Porosidade total n_t (%)
Depósitos não Consolidados	Areia grossa / Cascalho	25 - 40
	Areia média	25 - 50
	Areia fina	35 - 50
	Argila	40 - 70
Rochas	Basalto fracturado	5 - 50
	Calcário cársico	5 - 50
	Arenito	5 - 30
	Calcário, dolomia	0 - 20
	Argila xistosa / xisto argilítico	0 - 10
	Rochas cristalinas fracturadas	0 - 10
	Rochas cristalinas compactas	0 - 5

Tabela 2.1 – Valores médios de Porosidade (adaptado de Azevedo, 2001).

Os factores que influenciam a porosidade são, segundo Azevedo (2001):

- Litótipo
- Estrutura, Textura, Paking
- Granulometria (Coeficiente de Uniformidade)
- Evolução estrutural (facturação)
- Grau de alteração - litificação, compactação secundárias.

Desta forma, na Hidrogeologia é necessário definir-se o conceito de porosidade efectiva (n_e) ou eficaz, que consiste no volume de vazios que permitem a circulação de água.

$$n_e = \frac{\text{Volume de vazios interligados}}{\text{Volume total}}$$

Onde:

n_e – porosidade efectiva

V_{vi} – volume de vazios interligados

V_t – volume total

A porosidade efectiva (n_e), da mesma forma que a porosidade total, é uma grandeza adimensional, expressa em percentagem.

As formações rochosas com valores mais elevados de n_e encontram-se no grupo dos depósitos sedimentares ou vulcanoclásticos não consolidados.

A porosidade dos arenitos e dos conglomerados é usualmente muito inferior à dos seus equivalentes não consolidados, que são a areia e o cascalho, devido à presença de materiais de cimentação e matriz entre os grãos. Os xistos argilosos, siltes, argilas, os depósitos glaciares e os depósitos aluvionares são muito heterogéneos, embora por vezes com porosidades totais elevadas e baixas porosidades efectivas.

2.3.1.2 - Permeabilidade intrínseca

A **permeabilidade intrínseca** (K) é considerada uma propriedade “geométrica” uma vez que depende exclusivamente da granulometria do meio e em particular do coeficiente de uniformidade (C_u). Habitualmente expressa-se em cm^2 ou em Darcy. É uma propriedade hidrogeológica usualmente determinada para caracterizar meios porosos granulares não consolidados ou com baixa coesão inter-granular.

Vários métodos e fórmulas têm sido propostos para o cálculo da permeabilidade intrínseca. No caso de sedimentos não consolidados, vários estudos permitiram obter os valores tipo que se apresentam na Tabela 2.2.

De forma genérica pode dizer-se que:

- Quanto maior o tamanho médio dos grão do solo, maior a permeabilidade uma vez que os vazios são maiores.

- Quanto maior o desvio padrão do diâmetro das partículas, maior o coeficiente de uniformidade e menor a permeabilidade (o aumento do desvio padrão indica maior variação do tamanho dos grãos, com grãos pequenos a ocupar os espaços vazios entre os grãos grandes).

Amostras com um tamanho de grão dominante, isto é, com o coeficiente de uniformidade baixo apresentam maior permeabilidade intrínseca.

Material	Permeabilidade intrínseca (cm ²)	Condutividade hidráulica (cm/s)
Argila	$10^{-14} - 10^{-11}$	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte; silte argiloso	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia argilosa	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia siltosa; areia fina	$10^{-10} - 10^{-8}$	$10^{-5} - 10^{-3}$
Areia uniforme	$10^{-8} - 10^{-6}$	$10^{-3} - 10^{-1}$
Cascalho uniforme	$10^{-7} - 10^{-5}$	$10^{-2} - 10^0$

Tabela 2.2 – Valores de Permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados (adaptado de Freeze *et al.*, 1979).

2.3.1.3 - Retenção e cedência específicas

Ao extrair-se água de uma formação rochosa, parte da fracção é retida pelas forças de capilaridade - adsorção, pela tensão superficial e outra fracção está aprisionada em determinados poros. Apenas parte do volume total armazenado é libertado.

Assim, para uma caracterização completa do meio rochoso é necessário definir a capacidade de retenção e cedência das rochas:

- A **retenção específica** (m_e) pode ser definida como a relação entre o volume de água cedida por acção da gravidade e o volume total da amostra.

$$m_e = \frac{V_r}{V_t}$$

m_e – capacidade de retenção específica

V_r – volume de água retida

V_t – volume total

- A **cedência específica** (S_y) é relação idêntica para o volume de água que fica retida.

$$S_y = \frac{V_d}{V_t}$$

S_y – Capacidade de cedência específica

V_d – volume de água drenada por gravidade (Água livre)

V_t – volume total

A soma da cedência específica e da retenção específica é igual à porosidade total. Por exemplo, se duas amostras de solo têm a mesma porosidade, mas numa delas o tamanho dos grãos é menor que a outra, a de menor granulometria possui maior área de superfície dos grãos é consequentemente, maior quantidade de água ficará retida nessa superfície, logo a S_y é menor.

$$n_t = n_e + m_e$$

A água constituinte das reservas subterrâneas, recuperável mediante captações e que circula por gravidade, designa-se por água gravítica ou água livre. A água de ligação (retida) engloba a água peculiar (rodeia as partículas do terreno), a água capilar (situada na franja capilar) e a água higroscópica (retida no solo por forças não capilares, que só é separável em forma de vapor) (Figura 2.5).

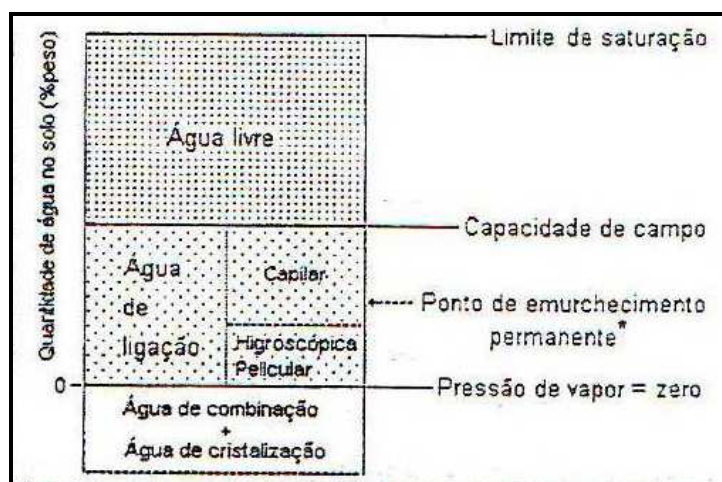


Figura 2.6 – Esquema explicativo dos diferentes tipos de água (adaptado de Azevedo, 2001)

2.3.1.4 – Armazenamento específico

O armazenamento específico (S_s) de um meio poroso saturado é definido como a quantidade de água libertada por um volume unitário do meio poroso quando o nível de água sofre um decréscimo. O armazenamento específico avalia a capacidade de um meio armazenar água. Depende de propriedades da água nomeadamente, porosidade, viscosidade e compressibilidade.

Os meios rochosos podem subdividir-se segundo a relação de p_{Atm} e a p_{H_2O} , existindo assim: meios confinados quando a $p_{Atm} < p_{H_2O}$ e meios não confinados quando a $p_{Atm} > p_{H_2O}$.

A determinação da cedência específica (S_y), tem significado de armazenamento específico quando se pretende caracterizar os meios porosos não confinados, pois a extracção de água corresponde, na realidade, a um esvaziamento dos poros.

Nos meios confinados, pelo contrário, quando se extrai água e enquanto se mantiver as condições de confinamento, não há esvaziamento imediato dos poros. A água retirada corresponde à expulsão hídrica, causada pela diminuição de pressão no local de extracção.

Para se avaliar a quantidade de água cedida, por um meio confinado tem de se determinar o coeficiente de armazenamento (S) o qual é definido como o volume de água cedido por unidade de área (1 m^2) do meio, quando a superfície piezométrica (nível da água) desce uma unidade de comprimento (1 m). Esta definição é igualmente aplicável aos meios porosos não confinados. O coeficiente de armazenamento (S) é uma grandeza adimensional.

2.3.1.5 - Meios confinados e não confinados – Coeficiente de armazenamento

Tendo em conta a pressão das águas subterrâneas nos meios porosos saturados naturais, os meios podem ser: confinados, onde a pressão da água é maior que a pressão atmosférica e não confinados, onde a parte superior do nível de saturação é livre e está à pressão atmosférica.

Nos meios confinados o mecanismo de libertação de água é diferente daquele que ocorre em meios livres (não confinados), como é o caso da água libertada para poços ou fontes, resultante da drenagem dos poros: os vazios inicialmente saturados passam a ser ocupados pelo ar e o nível de saturação desce. No caso de meios confinados, a libertação de água não

provoca o esvaziamento dos poros. A pressão da água no meio é muito maior que a pressão atmosférica e a extracção de água induz um alívio gradativo na pressão hidrostática. Consequentemente o peso das camadas geológicas superiores sobre o material poroso provoca a sua compactação. Nestes casos, a água é libertada devido a dois factores: à expansão da água proporcionada pela redução da pressão hidrostática e à redução dos vazios do aquífero causada pelo aumento da pressão sobre a estrutura do meio poroso.

2.3.1.6 - Lei de Darcy e condutividade hidráulica

Darcy, estudou e experimentou laboratorialmente a capacidade das rochas para se deixarem atravessar pela água. Das suas experiências resultou a principal lei do escoamento hídrico em meios porosos.

Fez passar água a um caudal (Q) constante através de um corpo de areia com uma determinada secção (A) e comprimento (L) e verificou que, nestas circunstâncias, o caudal é proporcional à diferença de carga hidráulica que se verifica entre a face de entrada e a de saída (se o regime do fluxo for sempre laminar).

A lei de Darcy é usualmente apresentada pela expressão:

$$Q = A \cdot K \cdot \frac{\Delta h}{L}$$

$$K = \frac{Q}{A \cdot \frac{\Delta h}{L}}$$

$$\text{Caudal escoado} = \text{Secção atravessada} \times (\Delta h/L) \times K$$

$$Q = A \times (\Delta h/L) \times K \text{ com } (\Delta h/L) = i = \text{gradiente hidráulico}$$

Δh – Diferença entre os níveis da água à entrada e à saída, respectivamente (m)

L – Distância percorrida pela água (m)

$K \cdot (\Delta h/L)$ – Velocidade de Darcy = Velocidade real (v). Porosidade eficaz (n_e)

$(\Delta h/L)$ – Gradiente hidráulico (i) adimensional

K – constante = Condutividade hidráulica do meio poroso (m.s^{-1})

A constante de proporcionalidade (K), que é característica do meio poroso e da água, é designada por coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica.

A lei de Darcy é claramente válida apenas para escoamentos laminares, meios isotrópicos e homogéneos. No escoamento laminar as velocidades de circulação de fluído são relativamente pequenas. O escoamento é dominado pela viscosidade do líquido e as perdas de carga (Δh) variam linearmente com a velocidade. Para velocidades maiores, o escoamento passa a ser dominado pelas forças de inércia e transforma-se em turbulento. Ocorre uma espécie de um turbilhão, as partículas de água progridem de maneira irregular. As perdas de carga não variam linearmente com a velocidade e a lei de Darcy tem de ser aplicada com reservas ou não é válida.

O coeficiente de proporcionalidade, K, que aparece na lei de Darcy, corresponde à condutividade hidráulica e reflecte as características do meio poroso - porosidade, tamanho, distribuição, forma e arranjo das partículas e as características do fluido (água) que circula. Obviamente um fluido mais viscoso terá, no meio poroso, velocidade de progressão inferior à velocidade de circulação da água, que tem baixa viscosidade. Além disso um líquido mais denso terá características de escoamento diferentes de um líquido menos denso. Neste sentido, a condutividade hidráulica, também vulgarmente designada por permeabilidade, está relacionada quer com parâmetros do meio poroso, quer com parâmetros do fluído.

A partir da equação de Darcy, verifica-se que a condutividade hidráulica tem unidades de uma velocidade e expressa-se em m/s, ou cm /s, ou ainda por m/dia e pode ser determinada por ensaios de laboratório ou de campo.

Esta é outra característica das rochas que importa analisar para compreendermos a facilidade com que a água por elas pode circular. Assim, existem rochas com elevada condutividade hidráulica (Tabela 2.3), ou seja, rochas que se deixam atravessar facilmente pela água, como por exemplo os depósitos de areia, e rochas com baixa condutividade hidráulica, isto é, nas quais a água tem dificuldade a atravessar ou não circula mesmo, como são, por exemplo, as argilas.

Condutividade Hidráulica (m/dia)									
10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴
Condutividade hidráulica relativa									
Muito baixa		Baixa			Moderada	Alta			Muito alta
Depósitos inconsolidados									
Argila		Silte, argila, misturas de areia, silte e argila			Areia fina	Areia pura, areia e areia grossa			Areia grossa e cascalheiras
Rochas consolidadas									
Rochas ígneas e metamórficas		Grés laminado, argila xistosa e lama				Grés Grosso e rochas ígneas metamórficas fracturadas			Basalto escoriáceo e vesicular, calcários cavernosos e dolomites

Tabela 2.3 – Valores de Condutividade hidráulica para material consolidado e não consolidado (adaptado de Delleur, 1999).

A potencialidade aquífera de uma formação rochosa, bem como a qualidade de uma captação dependem quer da porosidade, quer da condutividade hidráulica do aquífero.

2.3.1.7 – Heterogeneidade e anisotropia

Um meio poroso pode ser considerado **anisotrópico** quando o valor da condutividade hidráulica é diferente para cada uma das direcções consideradas. Um meio é considerado **heterogéneo** quando a condutividade hidráulica varia de ponto para ponto. Na Natureza o mais comum é a anisotropia e a heterogeneidade das formações geológicas. No entanto, nos trabalhos práticos muitas vezes considera-se o meio como homogéneo e isotrópico no sentido da simplificação dos cálculos. É importante observar que quando o material é anisotrópico a velocidade não é perpendicular às equipotenciais.

2.3.1.8 – Transmissividade

A **transmissividade** corresponde à quantidade de água que pode escoar através de toda a

espessura saturada do meio. A transmissividade é considerada como a taxa de escoamento de água através de uma secção vertical do aquífero com largura unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário. A transmissividade é dada pela expressão:

$$T = K b$$

Onde:

T – Transmissividade (m^2/s)

K – condutividade hidráulica (m/s)

b – espessura saturada do aquífero (m)

Para meios não confinados a espessura muda com o tempo, de acordo com a recarga ou descarga que faz subir ou descer a superfície freática.

2.4 - Classificação hidrogeológica das formações rochosas

O estudo da natureza, espessura e profundidade dos materiais sólidos da crosta terrestre, bem como da sua organização espacial, constitui, em qualquer local, um requisito prévio à compreensão da ocorrência e da circulação de corpos de água subterrâneas. As rochas da crosta terrestre funcionam muitas vezes como reservatórios naturais que armazenam quantidades maiores ou menores de água às quais o Homem pode ter acesso por processos naturais ou por meio de obras, de forma a satisfazer as suas necessidades.

A capacidade de armazenar - Armazenamento hídrico - e de permitir a circulação de água - Condutividade hidráulica - permitem agrupar as formações e estruturas geológicas em quatro grandes tipos - Classificação hidrogeológica (Tabela 2.4).

a) Formações geológicas saturadas em água com elevada capacidade de armazenar e transmitir essa água em condições naturais – **aquíferos**.

b) Formações geológicas que podem armazenar água mas que a transmitem lentamente não sendo rentável o seu aproveitamento a partir de captações, mas que podem desempenhar um papel importante na recarga dos aquíferos adjacentes. (Um exemplo é constituído por formações de argilas siltosas ou silto-arenosas – **aquitardos**).

c) Formações geológicas que podem armazenar água mas não a transmitem, por possuírem características de retenção muito fortes (praticamente são impermeáveis), não possibilitando assim a sua extracção. (As formações mais características abrangidas por esta definição são as de elevado teor em argila) – **aquicludos ou aquiclusos**.

d) Formações geológicas impermeáveis e sem vazios que não armazenam nem transmitem água, (por exemplo, os maciços graníticos são e não fracturados, formações metamórficas não alteradas e sem fendas e fracturas) – **aquífugos**.

Permeabilidade m/dia	10^{-6} 10^{-5} 10^{-4} 10^{-3} 10^{-2}					10^{-1} 1 10 10^1 10^2 10^3				
Qualificação	Impermeáveis	Pouco Permeáveis		Algo Permeáveis		Permeáveis		Muito Permeáveis		
Qualificação do Aquífero	Aquicluso	Aquitardo		Aquífero Pobre		Aquífero Regular a Bom		Aquífero Excelente		
Tipo de Materiais	Argila Compacta Xisto Granito	Silte Arenoso Silte Argila Siltosa		Areia Fina Areia Siltosa Calcário fracturada		Areia Limpa Casalheira e Areia Areia Fina		Casalheira Limpa		

Tabela 2.4 – Classificação das rochas quanto à permeabilidade

Exemplos de outras formações aquíferas: Calcários Cársicos

Rochas ígneas intensamente fracturadas

Depósitos aluvionares

Depósitos de lapilli ou escórias

Os depósitos siltosos e argilo-siltosos constituem exemplos de formações aquitardas.

2.5 – Unidades e sistemas aquíferos

Para que uma formação rochosa seja considerada aquífero, deve apresentar valores razoáveis de porosidade efectiva e de condutividade hidráulica. Por exemplo, a argila apresenta uma elevada porosidade total, mas possui uma reduzida cedência específica e permeabilidade muito reduzida (a efeitos práticos até impermeável), é considerada um aquicludo. Os aquíferos mais importantes são os constituídos por depósitos aluvionares (resultantes da acção da água) não consolidados, de areias e cascalheiras, que ocorrem em vales ou planícies. Muitas vezes os aquíferos encontram-se associados às superfícies de descontinuidade existentes nos depósitos sedimentares, as quais correspondem a períodos geológicos em que não houve deposição de sedimentos e a superfície do terreno então existente foi sujeita a erosão.

Segundo Feitosa *et al.* (2000) e sob o ponto de vista hidráulico, existem essencialmente três tipos de aquíferos:

Aquífero Confinado – ocorre quando a formação aquífera está limitada no topo e na base por camadas ou estruturas impermeáveis; neste enquadramento a pressão da água no aquífero é normalmente muito superior à pressão atmosférica. Consequentemente o nível da água – nível piezométrico – num piezómetro implantado no aquífero, situa-se acima da base da camada confinante superior. É o caso do aquífero d) (Figura 2.7). Em qualquer situação o nível de água indica a carga potenciométrica ou carga hidráulica média ao longo da zona de admissão de água – ralos – no furo.

Os níveis de água num certo número de furos de observação que estão abertos (têm os ralos) na formação aquífera definem a superfície potenciométrica do aquífero (também designado por superfície piezométrica).

Aquífero Semi-Confinado – corresponde a um aquífero em que pelo menos uma das camadas limítrofes é semipermeável (aquitrado), o que permite a circulação de água pelo topo e/ou pela base. Contudo, as formações semipermeáveis oferecem uma resistência hidráulica relativamente alta à passagem do fluxo hídrico através delas, logo a circulação da água é muito lenta e designa-se drenância. Mesmo assim, consideráveis quantidades de água podem ser perdidas ou ganhas por drenância nos aquíferos semi-confinados de extensão regional – Aquífero c) e e).

Nos furos implantados neste tipo de aquíferos verifica-se que o nível piezométrico sobe acima do tecto do aquífero devido à pressão da água intersticial existente no aquífero ser superior à pressão atmosférica.

Aquífero não confinado (livre ou freático) – corresponde às formações geológicas saturadas, cujo limite superior corresponde à superfície freática; nesta superfície de saturação a pressão da água é igual à pressão atmosférica. Este tipo de aquífero pode ser classificado de **drenante**, quando a base é semipermeável e **não drenante** quando a base é impermeável – Aquífero a).

No conjunto dos aquíferos não confinados podem incluir-se os aquíferos suspensos. Este sub-tipo refere-se a aquíferos formados sobre uma camada impermeável ou semipermeável de reduzida extensão e situada acima da superfície freática regional. O desenvolvimento destes aquíferos apresenta frequentemente um carácter temporário, na medida em que pode drenar a totalidade da água armazenada para o nível freático subjacente. Nos furos e poços

implantados em aquíferos livres o nível da água mantém-se no tecto do aquífero à mesma pressão que a pressão atmosférica. Neste caso o nível da água designa-se por **nível freático**.

Na Natureza as camadas e estruturas impermeáveis nem sempre se apresentam planas e rectilíneas. Elas podem ser descontínuas e irregulares, no entanto, podem constituir como estruturas confinantes dos aquíferos.

O nível da água dos aquíferos – nível piezométrico – não é estático e genericamente varia com: a precipitação ocorrida; a extracção de água subterrânea; os efeitos de maré nos aquíferos costeiros; a variação súbita da pressão atmosférica, principalmente no Inverno; as alterações do regime de escoamento de rios influentes (que recarregam os aquíferos) e a evapotranspiração.

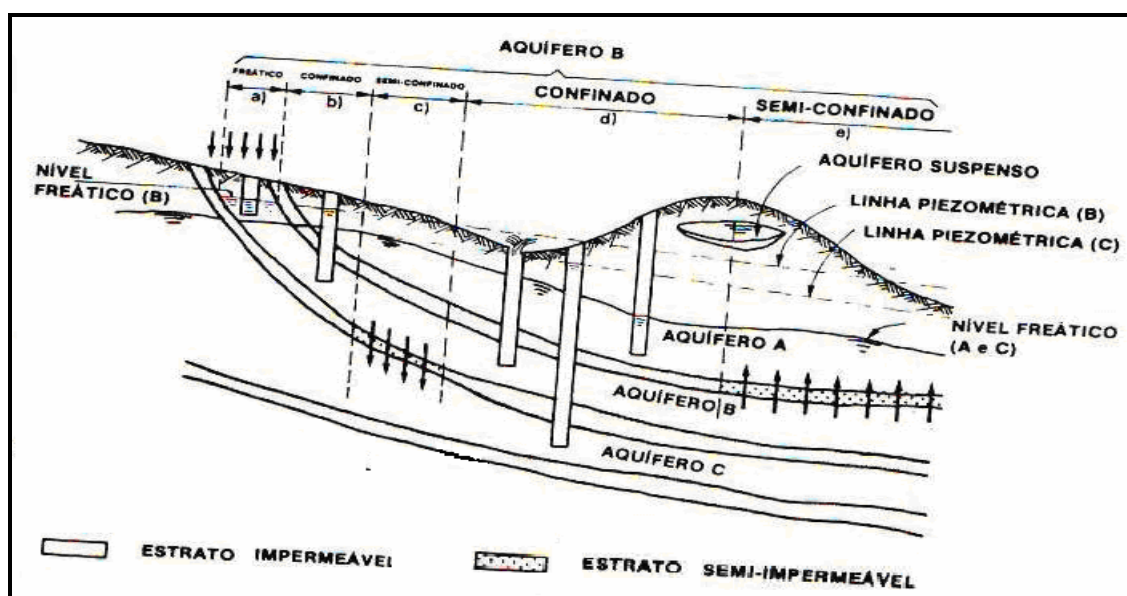


Figura 2.7 – Esquema com os diferentes tipos de aquíferos (adaptado Lencastre *et al.*, 2006).

2.5.1 – Recarga e descarga aquíferas

Designa-se por zona de recarga, a área de alimentação aquífera (Figura 2.8). Nos aquíferos livres a recarga decorre da infiltração. Nos aquíferos confinados e semi-confinados a recarga provém da circulação hídrica entre as unidades confinadas e livres. Esta evoluiu com o tempo em função das posições relativas das respectivas superfícies potenciométricas.

Numa caracterização hidrogeológica é fundamental determinar a recarga aquífera quer quantitativa quer qualitativamente. A recarga corresponde à renovação das reservas hídricas subterrâneas dos aquíferos. Para saber se um aquífero está a ser correctamente explorado, a sua recarga natural tem de compensar as extracções, evitando que as reservas de água subterrânea diminuam ao longo dos tempos o que pode mesmo levar ao esgotamento do aquífero. A recarga do aquífero funciona também como via importante de transporte de eventuais poluentes existentes na zona não-saturada do solo, originados por múltiplas actividades humanas ou, também, derivadas de produtos ou massas naturais.

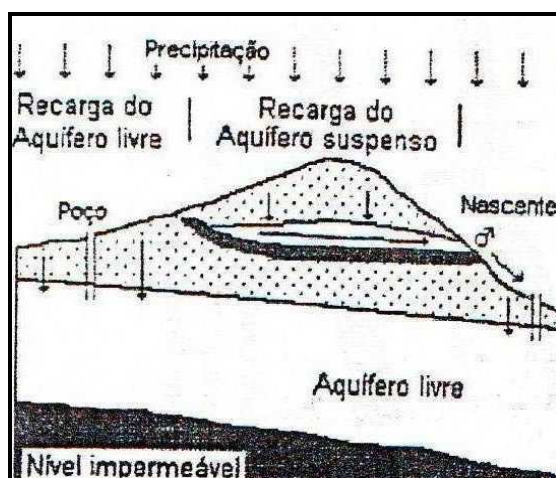


Figura 2.8 – Esquema representativo da recarga aquífero (adaptado de Azevedo, 2001)

De acordo com Ferreira *et al.* (1995) a avaliação da recarga pode ser dividida em diversas fases de análise. Assim, temos:

- Recarga por infiltração directa de água superficial (rios e lagos);
- Recarga por fluxo subterrâneo;
- Recarga por infiltração directa e profunda da água pluviométrica;

A recarga de um aquífero por fluxo subterrâneo resulta da descarga lateral de um aquífero adjacente, fazendo-se à custa das suas reservas por drenância deste aquífero, que no entanto, numa outra região, foi originada quer pela infiltração directa profunda de águas das chuvas, quer por infiltração a partir da superfície. Ao considerar uma bacia hidrográfica a recarga por fluxo subterrâneo, isto é, pelas suas fronteiras deixa de existir. O processo de recarga mais importante é a recarga de aquíferos por infiltração directa

profunda da água pluviométrica.

Existem diversos factores que influenciam a recarga com água da chuva. Assim, esta depende do valor de pluviosidade, da intensidade dessa precipitação, do tipo de solo (porosidade, material constituinte, taxa de infiltração), do teor de humidade do solo, do uso do solo que o pode tornar mais ou menos impermeável, da cobertura vegetal que vai condicionar a evapotranspiração e a infiltração, do meio rochoso por onde a água circula antes de atingir o aquífero e as próprias características do aquífero (porosidade eficaz, condutividade hidráulica, espessura, etc.). A recarga varia espacial e temporalmente devendo-se esta variação, fundamentalmente, à quantidade e à distribuição temporal da precipitação.

A determinação do valor de recarga de aquíferos pode verificar-se através de vários processos, dos quais se referem os seguintes tendo como base Ferreira *et al.* (1995):

- Balanços hídricos sequenciais
- Balanço de cloretos
- Métodos empíricos
- Análise de variação de níveis freáticos ou piezométricos
- Aplicação da lei de Darcy numa secção do aquífero
- Controlo de caudais de exsurgências.

A recarga potencial traduz a água subterrânea que existiria numa formação geológica se esta tivesse capacidade de armazenamento suficiente para comportar toda a água que evolui abaixo do limite inferior da zona do solo sujeita a evapotranspiração. A recarga potencial traduz o volume médio anual de água disponível para recarregar os aquíferos, se estes forem explorados continuamente.

A **descarga aquífera** pode desenvolver-se por processos **naturais**, como por exemplo por passagem directa para a zona não-saturada, por evapotranspiração, para outras unidades aquíferas (4), para a superfície através: de franjas de ex-filtração (2) – de corpos de água de superfície (rios (1), lagos, pântanos, mar) e exsurgências (emergências, nascentes (3)). Pode também ser **induzida** através da captação directa de águas subterrâneas (poços (5), furos, galerias (minas) e valas), através da captação de corpos hídricos superficiais com ligação hidráulica com aquíferos e drenagem em obras de construção civil.

CAPÍTULO 3

Enquadramento da área em estudo

- 3.1 – Enquadramento Geográfico
- 3.2 – Enquadramento Geológico
 - 3.2.1 – Caracterização da área em estudo
 - 3.2.1.1 – Geologia
 - 3.2.1.1.1 – Maciço Hespérico
 - 3.2.1.1.1.1 – Morfologia e Litologia
 - 3.2.1.1.1.2 – Estrutura
 - 3.2.1.1.1.3 – Hidrogeologia
 - 3.2.1.1.1.3.1 – Rochas Duras do Maciço Hespérico
 - 3.2.1.1.1.3.2 – Depósitos de cobertura no Maciço Hespérico
 - 3.2.1.1.1.3.2.1 – Depósitos arcósicos
 - 3.2.1.1.1.3.2.2 – Depósitos aluvionares holocénicos
 - 3.2.1.1.2 – Orla Mesoceno-zóica Ocidental
 - 3.2.1.1.2.1 – Morfologia e Litologia
 - 3.2.1.1.2.2 – Hidrogeologia
- 3.3 – Aquíferos
 - 3.3.1 – Sistema Aquífero Aluviões do Mondego.
 - 3.3.1.1 – Estratigrafia e Litologia
 - 3.3.1.2 – Tectónica
 - 3.3.1.3 – Hidrogeologia
 - 3.3.1.3.1 – Características Gerais
 - 3.3.1.3.2 – Parâmetros Hidráulicos e Produtividade
 - 3.3.1.3.2.1 – Análise Espaço – Temporal da Piezometria
 - 3.3.1.3.2.2 – Balanço hídrico
 - 3.3.1.3.3 – Qualidade
 - 3.3.2 – Sistema Aquífero: Condeixa - Alfarelos
 - 3.3.2.1 – Estratigrafia e Litologia
 - 3.3.2.2 – Tectónica
 - 3.3.2.3 – Hidrogeologia
 - 3.3.2.3.1 – Características Gerais
 - 3.3.2.3.2 – Parâmetros Hidráulicos e Produtividade
 - 3.3.2.3.3 – Análise Espaço-Temporal da Piezometria
 - 3.3.2.3.4 – Balanço Hídrico
 - 3.3.2.4 – Qualidade
 - 3.3.3 – Sistema Aquífero: Penela - Tomar
 - 3.3.3.1 – Estratigrafia e Litologia
 - 3.3.3.2 – Tectónica
 - 3.3.3.3 – Hidrogeologia
 - 3.3.3.3.1 – Características Gerais
 - 3.3.3.3.2 – Parâmetros Hidráulicos e Produtividade
 - 3.3.3.3.3 – Balanço Hídrico
 - 3.3.3.4 – Qualidade
 - 3.3.4.3.1 – Características Gerais

3.3.4.3.2 – Parâmetros Hidráulicos e Produtividade

3.3.4.4 – Qualidade

3.1 – Enquadramento Geográfico

Em termos geográficos, a área estudada enquadra-se em quatro Cartas Militares de Portugal, do Instituto Geográfico do Exército à escala 1/25 000: folhas 241 – Coimbra Sul, 242 – Foz de Arouce (Lousã), 251 – Condeixa - a - Nova e 252 – Lousã.

Está compreendida genericamente entre as coordenadas UTM 29T M: 541000 a 574000 e P: 4449000 a 4431000 e as coordenadas Lisboa M: 168000 a 200000 e P: 360000 a 340000.



Figura 3.1 – Área em estudo nas Cartas Militares.

A zona em estudo tem uma área de cerca de 640 km² e localiza-se no espaço designado por Centro Litoral, é atravessada pelo rio Mondego (que nasce na Serra da Estrela, a 1525 m de altitude, desaguando no Oceano Atlântico, junto à Figueira da Foz).

Ao longo do seu percurso, o rio Mondego corre em tipos de vales distintos, podendo ser identificados os seguintes troços:

- **Alto Mondego** – troço de rio inserido no maciço da Serra da Estrela, que corre ao longo de vales glaciares;
- **Médio Mondego** – troço de rio entre as faldas da Serra da Estrela e Coimbra, onde o rio serpenteia através de vales encaixados. Neste troço, afluem os rios Dão, Alva e Ceira;
- **Baixo Mondego** – troço de rio a jusante de Coimbra, que corre em vales abertos, em zona de planícies. Neste troço, afluem os rios Arunca e Pranto.

Do ponto de vista geomorfológico a área aqui tratada enquadra-se em duas grandes unidades: no interior, a chamada Meseta Ibérica, formada por rochas duras do Maciço Hespérico e, no litoral, a Orla Mesoceno-zóica, constituída essencialmente por formações sedimentares.

3.2 – Enquadramento Geológico

3.2.1 – Caracterização geral da área em estudo

Como foi referido, definem-se duas grandes unidades geológico-estruturais: O Maciço Hespérico e a Orla Mesoceno-zóica.

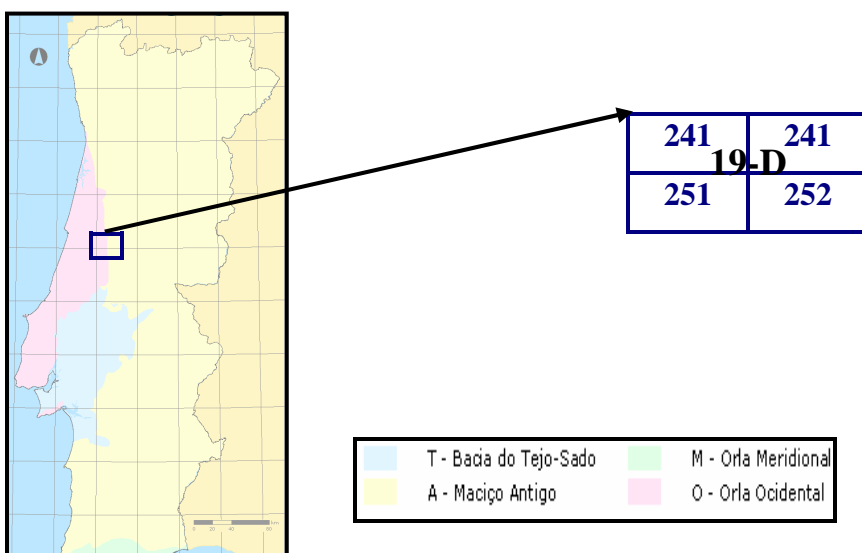


Figura 3.2 – Mapa com as unidades geomorfológicas, SNIRH (2000).

No Maciço Hespérico predominam as rochas ígneas e metamórficas, de idade paleozóica e mais antigas: xistos, metagrauvaques, quartzitos, granitos, granodioritos, gabros, pórfiros, essencialmente.

Embora consideradas de modo geral, quase impermeáveis, estas formações têm uma capacidade de armazenamento não desprezável, quer nas zonas de alteração superficial quer em sistemas de fracturas que as afectam e que se traduz, por exemplo, pela regularização do escoamento dos cursos de água que as atravessam.

Dada a elevada complexidade dessas formações, que se traduz em geral pela extrema dificuldade em estabelecer modelos conceptuais de circulação de água minimamente credíveis, o conhecimento desses meios hidrogeológicos é ainda muito limitado (Samper *et al.*, 2000).

Em certas zonas destas formações do Maciço Hespérico, surgem, contudo, algumas pequenas unidades aquíferas de idade muito mais recente, como são arenitos do Cretácico e terraços de areias e cascalheiras do Quaternário, que ocupam depressões do soco antigo e que possuem interesse hidrogeológico relevante.

Na parte correspondente à Orla Mesocenozóica e que se desenvolve a poente do grande alinhamento estrutural genericamente designado pela falha de Coimbra, as formações ocorrentes têm idades que vão desde o Triássico até à actualidade e desenvolvem-se em grandes faixas, mais ou menos paralelas a este grande acidente.

As mais antigas são constituídas pelos Grés de Silves (arenitos finos e grosseiros, siltitos e argilitos, sempre de tonalidades avermelhadas) de idade Triásica.

Segue-se outra grande faixa de formações essencialmente carbonatadas (calcários, margas, calcários dolomíticos, sendo frequentes as ocorrências conjuntas de vários destes tipos de rochas) e que pertencem ao Jurássico.

Na parte Noroeste da carta 19-D, ocorrem formações do Cretácico, constituídas por conglomerados, arenitos e pelitos, arenitos arcósicos e passagens calcárias e margosas intercaladas.

As formações mais recentes são constituídas por conglomerados e areias de várias granulometrias e cores, associadas a terraços antigos e, nas margens dos rios principais ocorrem formações fluviais que localmente podem ter grande importância hidrogeológica por serem origem de elevados caudais para abastecimento urbano (caso das captações que abastecem a cidade de Coimbra).

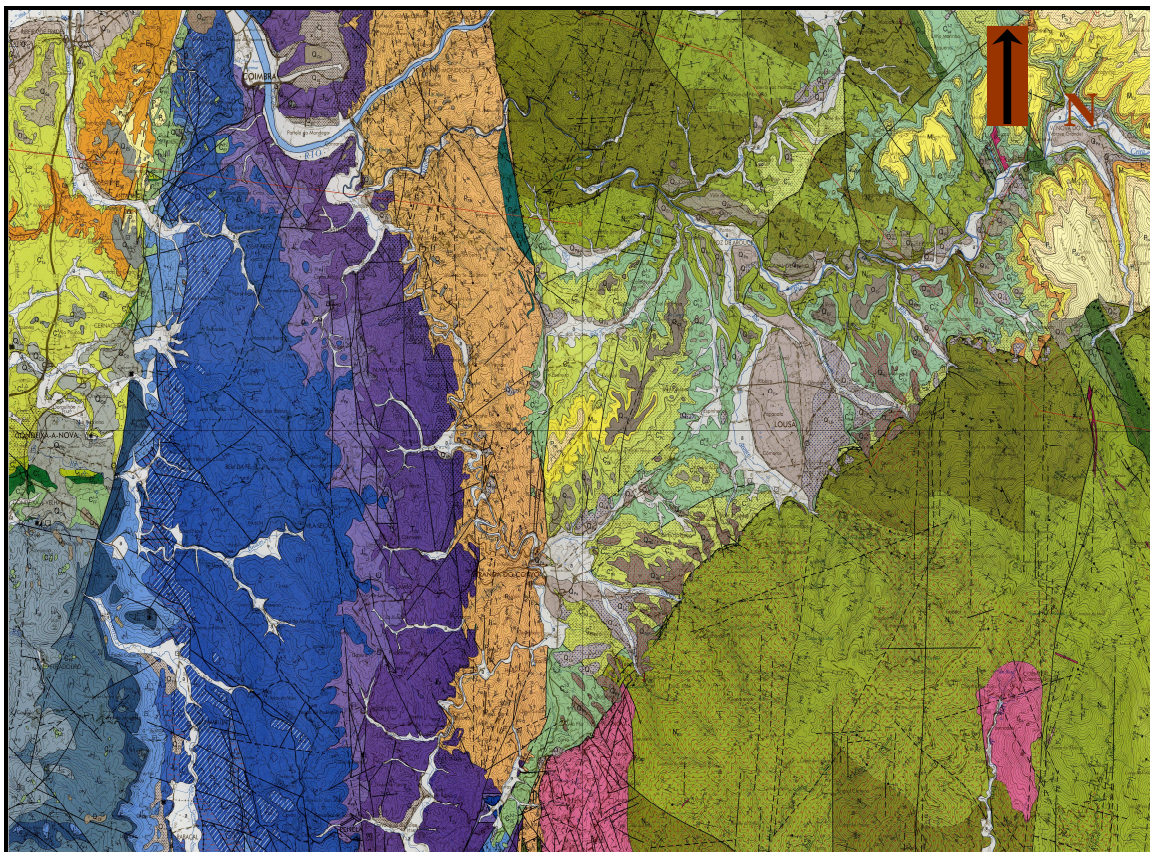


Figura 3.3 – Carta Geológica 19-D Coimbra – Lousã á escala 1:50 000, Ineti (2005).

3.2.1.1 – Geologia

Como já foi referido a área em estudo está inserida na Bacia Hidrográfica do Mondego. O limite entre o Maciço Hespérico e a Orla, quase se confunde com o contacto entre as zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena do Maciço Hespérico. Assim, desde a Serra da Estrela até cerca do meridiano de Coimbra, a bacia hidrográfica do Mondego desenvolve-se, praticamente em toda a extensão, pela Zona Centro-Ibérica do Soco Hercínico, e para oeste, até ao Oceano Atlântico, em terrenos da cobertura mesocenozóica.

3.2.1.1.1 – Maciço Hespérico

3.2.1.1.1.1 – Morfologia e Litologia

No Maciço Hespérico, podem individualizar-se três grandes famílias de rochas, características da zona Centro-Ibérica: o Complexo Xisto-grauváquico (Grupo das Beiras); os quartzitos ordovícicos, discordantes sobre aquele complexo e os granitóides hercínicos (granitos das Beiras).



Foto 1 – Complexo Xisto-Grauváquico (Grupo das Beiras), M: 186057,25 e P: 355869,67.

De uma maneira geral, estes metassedimentos estão afectados por metamorfismo de baixa pressão ou intermédio e estão intensamente dobrados. A intrusão de corpos graníticos produziu auréolas de metamorfismo de contacto relativamente estreitas que incluem xistos mosqueados e corneanas, por vezes bastante duras e compactas.

A transição do Complexo Xisto-grauváquico para o Ordovícico é marcada pela existência de um importante discordância angular. Os terrenos ordovícicos impõem expressão geomorfológica notável, com formação de longas cristas quartzíticas.

Na plataforma do Mondego, além de alguns terraços fluviais e de faixas de aluviões actuais dispostas ao longo dos cursos de água, encontram-se depósitos de cobertura mais antigos.

3.2.1.1.1.2 – Estrutura

De acordo com Ribeiro et al. (1979), no Maciço Hespérico podem considerar-se três sistemas fundamentais de desligamentos: (1) um sistema esquerdo, de direcção NNE-SSW a ENE-WSW; (2) um sistema direito, de direcção NNW-SSE a NW-SE e (3) acidentes de direcção bética (ENE-WSW).

Na área de estudo, identifica-se a falha de Coimbra, de direcção N-S, corresponde a uma falha inversa, com pendor médio de 60° para W, que separa o Complexo Cristalofílico (zona de Ossa-Morena) do Complexo Xisto-grauváquico da zona Centro-Ibérica e que constitui o bordo E da Bacia Sedimentar Lusitaniana; (2) o acidente Lousã-Pombal-Leiria, de direcção bética (ENE-WSW), correspondente a uma flexura em compressão (Ribeiro et al., 1979), com levantamento do bordo SE até Leiria e movimento inverso na direcção de Nazaré.

Os acidentes referidos e suas fracturas associadas assumem particular importância nomeadamente no controle do relevo e da rede de drenagem.

3.2.1.1.3 – Hidrogeologia

3.2.1.1.3.1 – Rochas Duras do Maciço Hespérico

O Maciço Hespérico é um domínio de “rochas duras” onde a ocorrência e circulação da água aparece essencialmente associada à fracturação; a Orla é um domínio onde ocorrem importantes sistemas aquíferos, muitos deles multicamada ou cárlicos.

Os granitóides, os xistos, os grauvaques e os quartzitos têm em comum muitas características hidrogeológicas, nomeadamente o modo de ocorrência e de circulação da água subterrânea. O escoamento dá-se predominantemente por fracturas e o armazenamento faz-se nas fracturas e, quando a alteração é significativa, na porosidade intergranular. Quando ocorrem em simultâneo os dois tipos de porosidade constituem-se os chamados meios de porosidade dupla em que a função de armazenamento nos poros intergranulares pode ser dominante. A drenância para as fracturas torna-se, por isso, um factor importante de recarga das fracturas.

A condutividade hidráulica ou permeabilidade por fracturas depende, entre outros factores, da abertura e do tipo de enchimento. Em meio saturado e em fracturas com paredes lisas, a velocidade do escoamento é directamente proporcional ao quadrado da abertura, isto é, a velocidade e o caudal dos escoamentos são muito sensíveis a pequenas variações da abertura da fracturação. Constituem-se, por isso, sub-domínios associados aos grandes acidentes tectónicos e fracturas associadas abertas, onde a circulação da água é significativa e onde a produtividade dos furos que eventualmente as intersectam pode ser relativamente elevada. Em situações excepcionalmente favoráveis, associadas com estas

estruturas muito abertas, relacionadas com a circulação de águas minerais, já foram executados furos de captação com caudal da ordem da dezena de litros por segundo.

Sintetizando, os sub-domínios com fracturação aberta constituem áreas de favorabilidade hidrogeológica. A configuração da superfície livre é irregular e depende da interacção entre a distribuição da condutividade hidráulica e a infiltração; o meio aquífero resulta fortemente compartimentado, com variações bruscas dos níveis piezométricos e das características hidráulicas entre compartimentos adjacentes. As condições geomorfológicas naturalmente que também condicionam a ocorrência e a circulação da água, em particular a infiltração. O relevo vigoroso do “maciço marginal de Coimbra”, influencia negativamente a infiltração, promovendo a escorrência superficial e o escoamento hipodérmico para uma rede hidrográfica que penetra profundamente as rochas que atravessa.

Na Plataforma do Mondego, pelo contrário, o relevo mais suave e a cobertura sedimentar que recobre localmente as rochas do soco são factores que facilitam a infiltração. Os pequenos aquíferos suspensos, suportados pelos sedimentos das pequenas bacias de cobertura, recarregam por drenância as rochas cristalinas subjacentes, constituindo ambientes onde a recarga se prolonga para além da época das chuvas.

Através de outros estudos já efectuados, verificou-se a produtividade genericamente baixa das captações de água subterrânea nas rochas duras do Maciço Hespérico. Os valores que se destacam pela positiva estão certamente associados aos aumentos da fracturação e da sua abertura à escala local. As captações descritas, emergências ou poços e minas de pequena profundidade traduzem o aproveitamento das condições de favorabilidade hidrogeológica existentes perto da superfície do terreno por via da alteração das rochas e do aumento da fracturação provocada pela descompressão dos maciços rochosos. Assim, para além do aproveitamento das nascentes, a construção de poços e/ou poços com drenos pode ser interessante até profundidades da ordem das duas dezenas de metros.

Salvo em áreas específicas com circulação muito profunda e que se identificam muitas vezes como áreas de circulação de águas minerais, a abertura das fracturas e a alteração das rochas não devem ser de molde a encontrar condições favoráveis de captação por furos abaixo de profundidades da ordem de 70 a 100 metros. O caudal médio de furos, tanto em granitos como em xistos, deverá ser da ordem de 1 l/s; será eventualmente um pouco superior em quartzitos. A ocorrência dos quartzitos em cristas de relevo vigoroso, dificulta o acesso a estas formações, excepto na intersecção com os vales, para onde drenam. Estas

formações fornecem em geral água de excelente qualidade físico-química e bacteriológica, onde os indicadores de poluição estão regra geral ausentes e que, por isso mesmo, são aproveitadas frequentemente como águas de mesa. Embora a vulnerabilidade destes terrenos possa ser elevada, por via da abertura das diaclases, e, em particular, da estratificação, a difícil acessibilidade aos afloramentos é causa de risco reduzido. A mineralização da água destas rochas duras é baixa, são normalmente hiposalinas, com condutividade eléctrica que, por norma, não ultrapassa 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mais baixa nos quartzitos, e com pH ligeiramente ácido (entre 6 e 7, como regra).

3.2.1.1.3.2 – Depósitos de cobertura no Maciço Hespérico

3.2.1.1.3.2.1 – Depósitos arcósicos

Os materiais de cobertura que preenchem as pequenas bacias sedimentares do Maciço Hespérico (Mortágua, Lousã, Arganil e Coja, entre outras) constituem áreas geomorfologicamente favoráveis à infiltração e ao armazenamento da água. No entanto, a condutividade hidráulica parece reduzida. Com efeito, Peixinho de Cristo (1988) refere que nos casos da Lousã e de Miranda do Corvo a produtividade aquífera e a permeabilidade destas formações sedimentares arcósicas são muito baixas. A litologia atravessada é desencorajante do ponto de vista hidrogeológico: formação argilosa, da superfície até cerca de 60 m de profundidade, sobrejacente a arenitos arcósicos (Arenitos do Buçaco) que incluem passagens com argilas e com calhaus.

3.2.1.1.3.2.2 – Depósitos aluvionares holocénicos

No seio do Maciço Hespérico, os aquíferos mais produtivos têm por suporte as aluviões modernas, estreitas faixas ao longo dos rios e claramente subordinadas a estes. Isto é, são aquíferos em que as reservas e os recursos intrínsecos são muito pequenos e muito inferiores aos recursos exploráveis. A exploração destes aquíferos induz a infiltração da água no leito dos rios e traduz-se, por isso, por um “prejuízo” no caudal do escoamento superficial.

Estes aquíferos aluvionares são muito vulneráveis, sujeitos a risco de contaminação pela água do escoamento superficial e pela agricultura.

3.2.1.1.2 – Orla Mesocenozóica Ocidental

3.2.1.1.2.1 – Morfologia e Litologia

Esta unidade morfoestrutural encontra-se individualizada do Maciço Hespérico, a Este, pela falha Porto-Coimbra-Tomar, e a Sul pelo ramo desta fractura, com direcção NNE.

O sector a Norte do rio Mondego até Cantanhede, é uma área que se pode considerar aplanada e de baixa altitude (Barbosa *et al.*, 1988).

3.2.1.1.2.2 – Hidrogeologia

A Orla é um domínio com grande espessura de sedimentos, com geomorfologia suave, com colinas calcárias e vales amplos, pouco profundos e com aluvionamento significativo. É também um domínio de grande variabilidade litológica, textural e estrutural. Dominam os carbonatos, os arenitos e os argilitos e, na cobertura quaternária ou plio-quaternária, materiais arenosos desagregados que propiciam fácil infiltração da água das chuvas.



Foto 2 – Arenitos do Triásico, M: 180432,63 e P: 346007,43.

A organização sequencial dos sedimentos e a tectónica, em particular a tectónica salífera, têm um significado hidrogeológico importante. A organização sequencial dos sedimentos individualiza verticalmente as formações com comportamento hidrogeológico diverso, criando alternâncias, mais ou menos cíclicas de aquíferos, aquitardos e aquíclusos.

Formam-se, assim, sistemas aquíferos multicamada, com escoamentos por drenância intercadas do sistema, de acordo com o potencial hidráulico local: genericamente descendente nas zonas de recarga e ascendente nas de descarga. As estruturas tectónicas desenvolvidas no decurso da evolução da bacia Lusitânia, proporcionaram o afloramento das diversas unidades geológicas anteriormente descritas, constituindo assim sub-domínios onde as formações aquíferas são recarregadas superficialmente pela infiltração da água das chuvas. O prolongamento em profundidade dessas formações, em estruturas do tipo sinclinal ou monoclinal, faz com que, em domínios vastos, as camadas aquíferas se encontrem a muitas centenas de metros de profundidade, em condições de confinamento ou semiconfinamento, com importante artesianismo.

No que respeita à circulação da água subterrânea individualizam-se dois tipos de sistemas aquíferos: os cársicos e os porosos (nalguns casos, como nos arenitos, a contribuição da fracturação é certamente significativa). Nos primeiros, suportados por calcários e dolomitos, com circulação em grande, por estruturas cársicas que se desenvolvem pela dissolução dos carbonatos provocada pela própria água do escoamento do aquífero. A infiltração, quando a superfície se encontra carsificada, é elevada, da ordem ou mesmo acima de 50 a 60 % da precipitação. Também a capacidade de armazenamento e transmissiva dependem da carsificação. Estes aquíferos têm em regra poder de autorregulação limitado, que bem se evidencia pelas grandes variações de caudal das importantes nascentes por onde descarregam e pela amplitude da variação dos níveis da água entre a época das chuvas e a estação seca. A infiltração e o escoamento rápido pelas estruturas cársicas tornam estes aquíferos particularmente vulneráveis à poluição, com muito baixo poder autodepurador e com propagação rápida das contaminações.

3.3 – Aquíferos

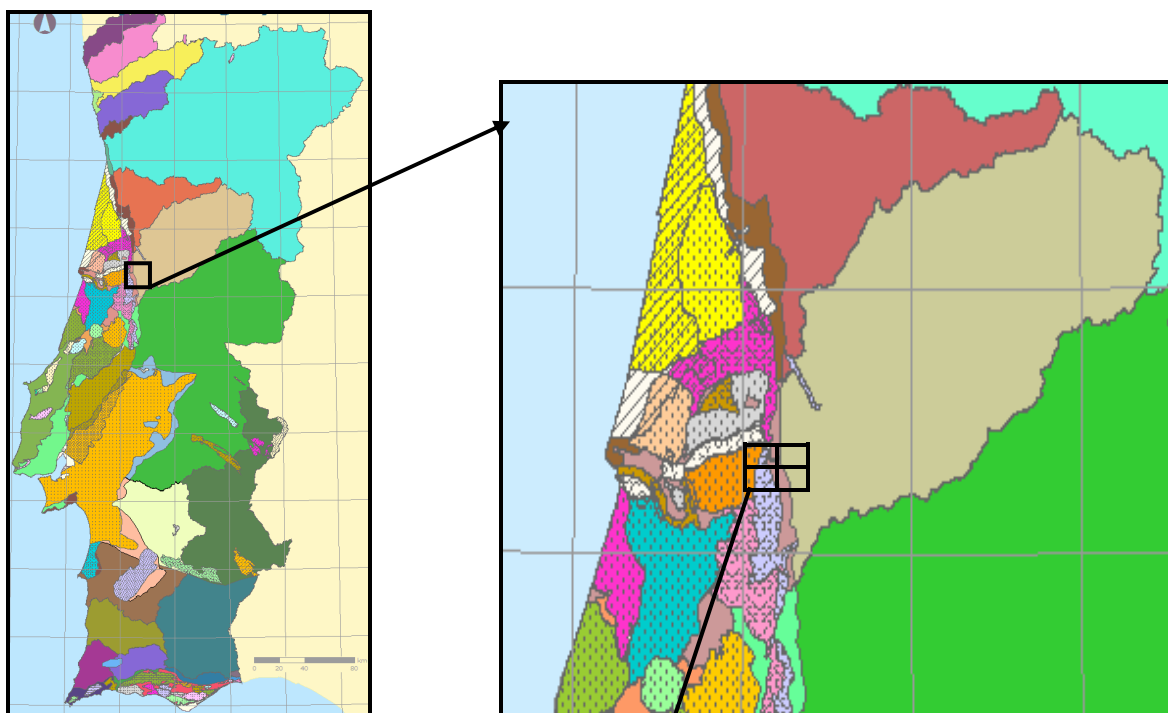


Figura 3.4 – Esquema dos aquíferos pertencentes à zona em estudo (SNIRH, 2000).

241	242
251	252

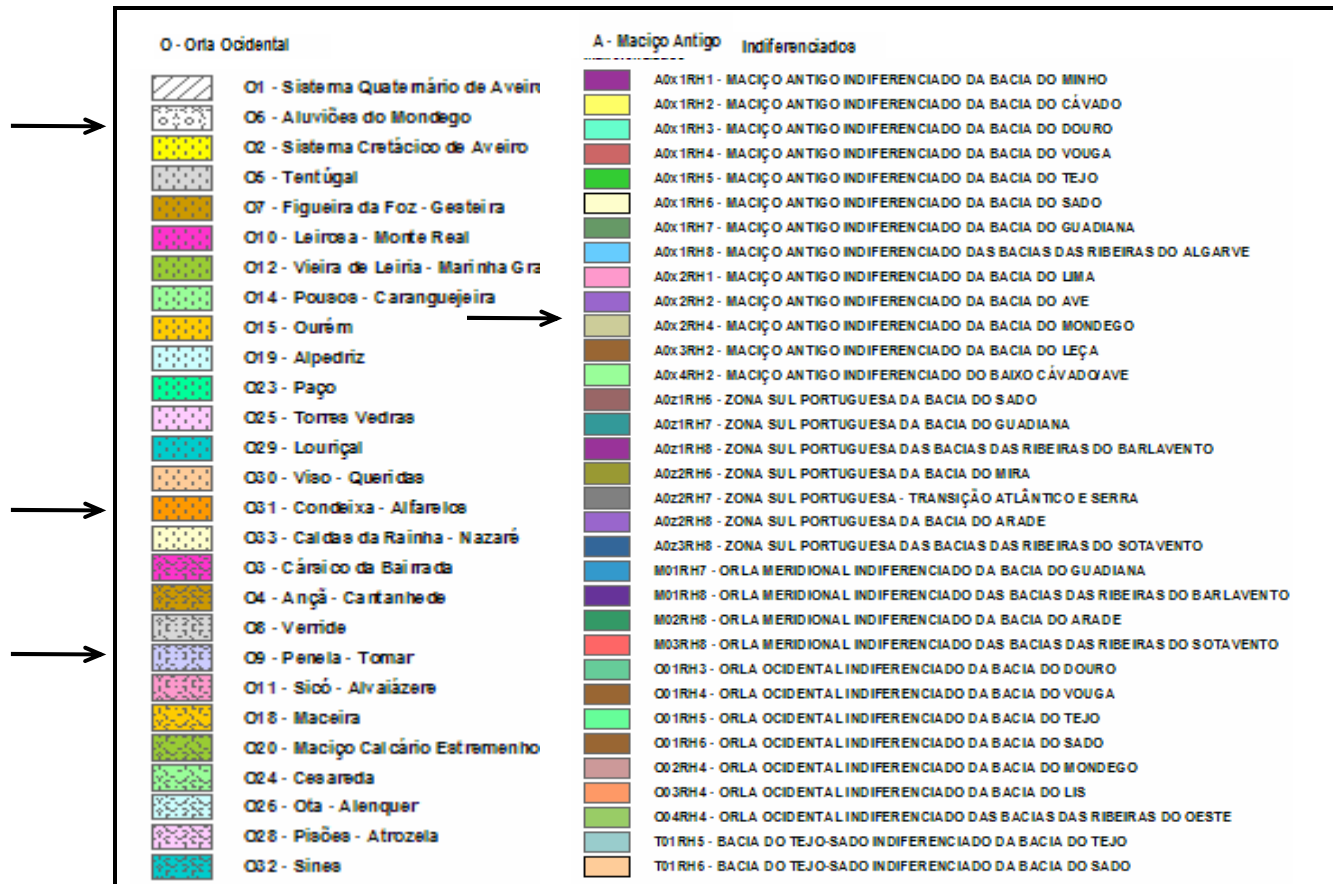


Figura.3.5 – Legenda dos aquíferos pertencentes à área em estudo, SNIRH (2000).

Na zona em estudo, ocorrem diferentes tipos de sistemas aquíferos (porosos, fissurados e cársicos) que condicionam o armazenamento e a transmissão da água subterrânea. Existem também zonas singulares de interacção com outros meios aquáticos, em diversos ambientes, como sejam os rios.

Da recolha de dados que foi realizada, foram obtidos 18 relatórios de furos do aquífero dos Aluviões do Mondego, 30 do aquífero Condeixa-a-Nova, 30 do aquífero Penela-Tomar, e por fim 86 furos do aquífero do Maciço Indiferenciado, como podemos verificar na tabela no anexo 1. No capítulo 6 será dada nota pormenorizada deste inventário elaborado no âmbito desta dissertação.

O texto apresentado de seguida foi retirado após consulta da publicação realizada pelo Inag. As designações utilizadas são as que correspondem à classificação que consta no SNIRH (2000).

3.3.1 – Sistema Aquífero Aluviões do Mondego

3.3.1.1 – Estratigrafia e Litologia

O sistema aquífero de Aluviões do Mondego, é constituído por areias e areias com seixos e calhaus, com intercalações de argilas e lodos. Podem considerar-se vários domínios distintos:

- Desde o limite a montante, quando o Mondego deixa o Maciço Hespérico e entra na Orla Ocidental, até ao Açude-Ponte, onde as intercalações de lodos e argilas são lentículas de pequena espessura e reduzida extensão; as camadas areno-cascalhentas encontram-se por vezes horizontais com elevada concentração de calhaus.
- A espessura das formações e a ocorrência de camadas espessas de areia condicionam a produtividade das captações, como em Taveiro, onde, simultaneamente, há furos improdutivos e se encontram captações que fornecem 60L/s.

A espessura aumenta das margens para a zona axial e de montante para jusante. Por exemplo, a zona da Boavista-Coimbra (posição relativamente marginal) com cerca de 25 metros de espessura, zona da ponte de Santa Clara (Coimbra) com 40 metros; Ponte Açude (Coimbra) com cerca de 50 metros, Taveiro com cerca de 25 metros.

3.3.1.2 – Tectónica

As aluviões recobrem as estruturas do substrato pelo que não é fácil a sua detecção. O seu conhecimento é importante pela movimentação que provocam e implicações na espessura e sedimentologia das aluviões.

Seabra (1994), através de métodos de prospecção geofísica, faz a cartografia de numerosas falhas que cortam transversalmente as aluviões, agrupando-se nas famílias com direcções: NNE-SSW, as mais frequentes, NE-SE, NW-SE e N-S, as menos numerosas.

3.3.1.3 – Hidrogeologia

3.3.1.3.1 – Características Gerais

O sistema aquífero dos Aluviões do Mondego é muito produtivo, poroso, multicamada (lenticular) e livre a confinado/semiconfinado como resultado da variabilidade das condições texturais e estruturais no volume aluvionar.

O substrato do sistema aquífero é de litologia variada, conforme as formações onde o rio foi escavando o seu leito. Como exemplo, na Boavista (Coimbra), as aluviões sobrepõem-se aos arenitos triásicos.

3.3.1.3.2 – Parâmetros Hidráulicos e Produtividade

A variabilidade dos caudais é grande e traduz a variabilidade da textura e da estrutura que são características dos volumes aluvionares. As captações mais produtivas e com melhor rendimento (aqui avaliado pelo caudal específico), localizam-se na área de montante do sistema aquífero, nomeadamente na área da Boavista. Com efeito, aqui, a areia, os seixos e os calhaus constituem praticamente toda a coluna sedimentar e há uma ligação rio/aquífero sem constrangimentos de camadas argilosa e/ou siltosas, que são abundantes mais a jusante.

Como tendência geral, há aumento da profundidade dos furos para jusante que resulta de idêntica tendência na variação da espessura da aluvião. Mas verifica-se haver diminuição do caudal e do caudal específico na direcção de jusante o que pode justificar-se pelo aumento da fracção argilosa e siltosa na textura da aluvião.

O caudal específico segue uma distribuição espacial idêntica à do caudal: é influenciado pela variabilidade litológica e pela ligação hidráulica às linhas de água.

3.3.1.3.3 – Análise Espaço – Temporal da Piezometria

O nível freático está próximo da superfície do terreno, a apenas alguns metros de profundidade. Tem variações sazonais, nomeadamente relacionadas com o nível da água na rede de drenagem superficial. Do inventário, detectou-se um furo com o nível da água acima da superfície do terreno. Este facto pode eventualmente associar-se a níveis da água

no topo do substrato cretácio que aqui foi intersectado. A ser assim confirmaria que, neste local, o Sistema Aquífero de Tentúgal tem descarga oculta nas aluviões do Mondego.

O escoamento subterrâneo, em linhas gerais, dá-se em direcção aos cursos de água que atravessam longitudinalmente o sistema aquífero.

3.3.1.3.4 – Balanço hídrico

A recarga do sistema faz-se por infiltração directa da precipitação e através de influências de cursos de água superficiais. Admite-se que os sistemas aquíferos que marginam e se prolongam sob as aluviões do Mondego tenham descargas ocultas.

A recarga por infiltração a partir do rio depende da diferença de potencial hidráulico entre a água do rio e do aquífero.

A relação hidráulica entre o sistema aquífero e as linhas de água que o atravessam é de natureza sazonal (influyente ou efluente) dependendo da posição relativa dos níveis de água que, por sua vez, depende do regime de escoamento nas linhas de água e/ou da bombagem no sistema aquífero.

Na maior parte da extensão, o sistema aquífero é subordinado ao rio. Isto é, as reservas e os recursos intrínsecos do sistema aquífero são muito inferiores aos recursos exploráveis. A exploração do sistema aquífero induz a infiltração (captura) da água no leito dos rios e traduz-se, por isso, por um “prejuízo” no caudal do escoamento superficial.

As saídas naturais do sistema ocorrem quando as águas são mais altas no aquífero que no rio e incluem a água de infiltração directa das precipitações, das descargas dos sistemas aquíferos subjacentes e do armazenamento marginal após o período de águas altas nas linhas de água.

3.3.1.3.5 – Qualidade

As camadas de areia aluvionar superficiais foram exploradas e resultaram importantes depressões preenchidas por material de aterro e entulho que provavelmente constituem importante foco de contaminação do sistema aquífero.

A classificação das águas pelos iões predominantes, parece evidenciar que a fácies varia com os sectores do sistema aquífero:

- Na zona da Boavista a água é de fácies mista, tanto no que respeita aos aniões como aos catiões. Os aniões cloreto e bicarbonatos dominam, em regra, do mesmo modo que o sódio e o cálcio são os catiões mais abundantes;
- Após a Ponte-Açude de Coimbra, a partir da qual a planície aluvionar alarga, as águas passam a ser, com frequência, de fácies bicarbonatada cálcica ou bicarbonatada sódica. Esta mudança de fácies é acompanhada de aumento da mineralização. Estes factos sugerem contribuição de águas do substrato carbonatado. Na região de Taveiro são cloretadas sódicas.

Quanto à classificação S.A.R* (Sodium adsorption ratio), temos:

- C_1S_1 – representam perigos de salinização e de alcalinização baixos, distribuem-se pela zona da Boavista e na margem esquerda, até Taveiro.
- C_2S_1 – representam perigos de salinização médio e de alcalinização baixo, distribuem-se após a Ponte Açude, com predomínio na margem esquerda.
- C_3S_1 – representam perigos de salinização alto e de alcalinização baixo, distribuição espacial idêntica às da classe anterior, com predomínio da faixa central e margem direita das aluviões.

* No capítulo 4 fala-se com mais pormenor sobre esta classificação

3.3.2 – Sistema Aquífero: Condeixa – Alfarelos

3.3.2.1 – Estratigrafia e Litologia

Em grande parte do domínio deste sistema aquífero, afloram os Arenitos e Argilas de Taveiro do Cretácico superior, recobertos por depósitos terciários que aparecem sob a forma de retalhos individualizados pela erosão das linhas de água. A Sul, já fora da área aqui tratada, no flanco Norte dos anticlinais de Soure e Cabeça Gorda, afloram os Arenitos Finos de Lousões, os Calcários de Trouxemil e os Arenitos da Figueira da Foz.

Os Arenitos e Argilas da Formação de Taveiro são constituídos por arenitos finos a grosseiros, conglomeráticos, argilas e argilitos, por vezes margosos, em geral vermelhos que dão lugar a alternâncias muito frequentes.

A sequência das formações cretácicas subjacentes aos Arenitos e Argilas de Taveiro é a seguinte:

Arenitos Finos de Lousões que, na base, são constituídos por arenitos finos muito micáceos, passando depois a arenitos arcósicos a subarcósicos, grosseiros a muito grosseiros.

Sob os Arenitos Finos de Lousões e fazendo a separação com as formações gresosas do Cretácico inferior e superior, ocorre a Formação Carbonatada, aqui cartografada sob a designação de Formação de Trouxemil. Trata-se de calcários, calcários margosos, grés calcários e margas, com textura concrecionada ou apinhoadas.

Subjacente às formações anteriormente descritas, em contacto directo com os terrenos jurássicos, encontra-se uma formação constituída em geral por arenitos mais ou menos argilosos, finos a grosseiros, conglomeráticos, com cascalheiras e seixos, e por argilas em geral arenosas. Esta formação recebe nomes locais: formação de Figueira da Foz, na zona a noroeste de Coimbra; formação de Lomba de Alveite, na zona a nascente da falha de Coimbra (serra da Lousã).

Estas formações do Cretácico médio e inferior, afloram no flanco Norte dos anticlinais de Soure e de Cabeça Gorda, a Sul do sistema, onde mergulham para Norte e voltam a aflorar a Norte do rio Mondego (sistema aquífero de Tentúgal) desenhando assim uma estrutura sinclinal, certamente complexa por via de dobras secundárias e falhas com movimentação importante. Estas estruturas dão origem a pequenos afloramentos dos calcários, na região de Coimbra, logo a Sul do Mondego.

As formações aquíferas localizam-se abaixo dos Arenitos e argilas de Taveiro a que é atribuída uma espessura da ordem dos 170 metros. Há casos em que o topo destas formações aquíferas só foi atingido a cerca de 200 metros de profundidade.

As camadas aquíferas são os arenitos grosseiros do topo da formação Arenitos Finos de Lousões; os calcários da unidade Calcários de Trouxemil e os arenitos pouco argilosos da formação Arenitos da Figueira da Foz.

3.3.2.2 – Tectónica

O sistema aquífero localiza-se numa bacia sinclinal. A oriente, a bacia é limitada por segmento de falha muito extensa, aqui com orientação quase meridiana, que põe em contacto o Cretácico com o Jurássico inferior.

A ocorrência de afloramentos dos calcários no meio da bacia, logo a sul da margem esquerda do Mondego, faz antever a ocorrência de fracturação que não está indicada na cartografia disponível.

3.3.2.3 – Hidrogeologia

3.3.2.3.1 – Características Gerais

A produtividade aquífera dos Arenitos de Taveiro é, em regra, baixa a muito baixa, com um comportamento global de aquícluso. Ocorrem algumas intercalações areníticas mas por terem estrutura lenticular a sua importância é reduzida.

Os terrenos cretácicos subjacentes têm permeabilidade e produtividade muito acima do que se regista nos Arenitos e Argilas de Taveiro, constituindo as unidades produtivas deste sistema aquífero.

Segundo Peixinho de Cristo (1998), as três unidades aquíferas (Arenitos Finos de Lousões, Calcários de Trouxemil e Arenitos da Figueira da Foz) são independentes do ponto de vista hidráulico e como tal, apresentam cargas hidráulicas diferentes e águas com características químicas distintas.

O escoamento faz-se num volume geológico, essencialmente poroso, constituído por materiais detríticos, de textura muito variável e estrutura lenticular. As camadas de natureza argilosa separam as várias unidades aquíferas e dão um carácter multicamada ao sistema aquífero. Devido à variabilidade da composição granulométrica, também as características hidráulicas podem variar significativamente de local para local.

O sistema aquífero é livre na zona de afloramento das camadas aquíferas, a Sul, e, na restante área o conjunto das camadas aquíferas é confinado (semiconfinado?) hidráulicamente pela espessa formação dos Arenitos e Argilas de Taveiro.

O muro das unidades aquíferas presume-se que seja constituído por formações carbonatadas do Jurássico médio e inferior, desconhecendo-se o comportamento hidráulico destas formações em profundidade e a sua relação hidrodinâmica com as formações arenosas do Cretácico.

3.3.2.3.2 – Parâmetros Hidráulicos e Produtividade

Nas proximidades do limite Sul, as sondagens realizadas intersectam essencialmente as formações detríticas do Cretácico inferior, que aqui afloram em faixa estreita; no centro e norte da bacia, começam por atravessar, e às vezes captar, os Arenitos e as Argilas de Taveiro e, os mais profundos, terminam nas formações subjacentes à formação de Taveiro. No sector norte e centro, os furos pouco ou nada produtivos ficaram-se pelos Arenitos e Argilas de Taveiro; os mais produtivos captam abaixo desta formação o que exigiu, nalguns casos, profundidades da ordem das três centenas de metros. O coeficiente de variação dos valores dos parâmetros reportados é elevado.

Dos valores da produtividade extraem-se algumas conclusões gerais:

- Os Arenitos e Argilas de Taveiro constituem uma série espessa de sedimentos de baixa a muito baixa permeabilidade. A produtividade das captações que intersectam esta formação é sempre muito baixa (como regra, o caudal é inferior a 1 ou 2 L/s) com casos de alguma probabilidade de insucesso total.
- As formações subjacentes aos Arenitos e Argilas de Taveiro possuem características aquíferas semelhantes às que lhe são atribuídas noutras áreas (sistemas aquíferos Figueira da Foz-Gesteira e Tentúgal) mesmo quando situadas a algumas centenas de metros de profundidade. (No âmbito deste trabalho foi inventariado um furo com caudal igual ou superior a 20 L/).
- Pode-se concluir que nos casos onde existe informação disponível, se conclui que os Arenitos Finos de Lousões são uma unidade hidrogeológica com muito interesse hidrogeológico.
- A captação em toda a série cretácica subjacente aos Arenitos e Argilas de Taveiro, pode dar caudais, por captação, da ordem de 20 L/s. A profundidade destas captações dependerá das condições estruturais locais: nalguns casos serão necessários furos de 300 a 400 metros de profundidade.
- Nas áreas onde afloram os arenitos do Cretácico inferior, é possível satisfazer pequenos abastecimentos (até 5 L/s) com furos de 100 a 150 metros de profundidade.

3.3.2.3.3 – Balanço Hídrico

As recargas do sistema aquífero fazem-se através das precipitações que caem directamente sobre a superfície dos afloramentos permeáveis do sector sul.

Os dados são escassos e imprecisos para permitir uma conclusão definitiva mas parece que os horizontes mais permeáveis dos Arenitos e Argilas de Taveiro têm nível piezométrico mais elevado que as camadas do Cretácico inferior. Sendo assim, o aquífero estaria a receber recarga por drenância vertical, que não é possível quantificar.

Os rios que atravessam o sistema aquífero, em direcção ao Mondego, drenam as camadas mais superficiais do tecto do sistema (Arenitos e Argilas de Taveiro) e os retalhos dos depósitos da cobertura terciária. No entanto, aqueles com aluvionamento mais significativo, ao atravessarem as camadas aquíferas do Cretácico inferior, como o rio de Mouros, devem desempenhar um papel importante na recarga do sistema aquífero através da recarga indirecta e diferida. Não se conhecem saídas naturais do sistema sob a forma de nascentes caudalosas.

3.3.2.4 – Qualidade

No que respeita á mineralização total, individualizam-se dois grupos: o das águas com condutividade eléctrica superior ou igual a 5900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e as outras com condutividade eléctrica inferior a 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

O primeiro agrupamento, com excessiva mineralização, estará certamente associada à dissolução de material evaporítico e aos fenómenos de diapirismo. No outro grupo, uma é bicarbonatada cálcica e a outra é cloretada calco-sódica.

Das águas com condutividade eléctrica inferior a 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a mais mineralizada diz respeito a um furo localizado na zona centro da bacia e que capta abaixo da série argilosa do Cretácico superior, aqui muito espesso. Trata-se de água de fácies cloretada sódica.

Quanto à qualidade para produção de água para consumo humano, e para a categoria A1, verifica-se que a condutividade, o cloreto, o sulfato e o ferro ultrapassam os respectivos VMR. Quanto aos VMAs, nenhum é ultrapassado.

As águas com elevada mineralização, devido à dissolução de evaporitos, são impróprias para o regadio (classes C_4S_4 e C_4S_3). Quanto às restantes, distribuem-se pelas classes C_3S_1

(1) e C₂S₁ (2) pelo que representam perigos de salinização médio a alto e de alcalinização baixo. Numa das águas, o cloreto ultrapassa o VMR.

3.3.3 – Sistema Aquífero: Penela -Tomar

3.3.3.1– Estratigrafia e Litologia

Tem como principais formações aquíferas os dolomitos, calcários compactos e calcários dolomíticos compactos, por vezes com intercalações margosas, do Liásico.

De acordo com Ribeiro (*et al.* 1979) as unidades mais antigas são de calcários e dolomitos a que se seguem calcários e margas com xistos betuminosos, progressivamente mais carbonatados com a aproximação ao Liásico superior, terminando em calcários maciços algo cristalinos. No Liásico superior mantém-se a natureza calcário-margosa, já menos dolomítica, que se por margas brandas e calcários (brandos, compactos ou sublitográficos em plaquetas), por vezes com intercalações de biostromas (Ribeiro *et al.* 1979).

As espessuras são muito variáveis, conhecendo-se valores entre os 106 m (região de Almalaguês) e os 242,5 m (Torre de Vale de Todos)

3.3.3.2 – Tectónica

Segundo Cabral e Ribeiro (1988) esta região está afectada por diversos acidentes de movimentação recente. Assim, nesta região são registados os seguintes acidentes: lineamentos correspondentes a possíveis falhas activas – orientações NNE-SSW, NNW-SSE e NW-SE; falhas prováveis de movimentação desconhecida, com orientação N-S; falhas prováveis de inclinação desconhecida, com componente de movimentação vertical, com orientação E-W que flecte para NE-SW ou N-S à medida que caminha para o contacto com o soco hercínico. O contacto com o Maciço Hercínico faz-se por uma falha cuja orientação é essencialmente N-S, de inclinação desconhecida e componente de movimentação vertical.

3.3.3.3 – Hidrogeologia

3.3.3.3.1 – Características Gerais

O sistema aquífero é cársico, com o substrato formado pelos Grés de Silves, que marginam o sistema aquífero a nascente. As sequências calco-margosas do Liásico médio e superior constituem a parte superior do sistema aquífero. Apenas uma parte é coberta por rochas com aptidão aquífera significativa, correspondentes às formações da base do Liásico. As áreas restantes, são ocupadas por formações sobrejacentes, também de idade liásica, mas de carácter calco-margoso, ou francamente margoso. No entanto, é provável que parte destas áreas corresponda a zonas de recarga das formações aquíferas.

Neste sistema, conhecem-se algumas cavidades e zonas de descarga: a de Alcabideque e a do Dueça. Esta última, embora situada em calcários liásicos, está relacionada com um importante sistema de drenagem subterrânea que inclui os calcários do Liásico.

3.3.3.3.2 – Parâmetros Hidráulicos e Produtividade

A maioria das captações tem caudais modestos. No entanto, como é típico de aquíferos cársicos, algumas captações situadas perto de exurgências importantes ou perto do contacto com formações menos permeáveis, podem fornecer caudais elevados.

Assim temos dados de dois grupos: um, que inclui a maior parte dos dados disponíveis, com caudais até 8 L/s; outro, que inclui as captações situadas perto de exurgências ou do contacto com formações menos permeáveis. Está neste caso furos situados em Vila Nova Cernache, onde se extrai um caudal de maior de 10 L/s.

Tal como acontece com as produtividades, podemos considerar dois grupos para os valores de transmissividade, derivados a partir dos caudais específicos: um correspondente às captações com pequeno caudal, com valores entre 1 e 100 m²/dia, e outro correspondente às captações situadas perto das exurgências ou do contacto com rochas menos permeáveis, com valores entre 350 e 850 m²/dia (Peixinho de Cristo, 1988). Esta variabilidade de valores de transmissividade é característica dos meios cársicos.

3.3.3.3 – Balanço Hídrico

Sistema alimentado por recarga directa – que ocorre nas áreas de afloramento das formações mais permeáveis liásicas – e, possivelmente, por drenância a partir das formações sobrejacentes menos permeáveis.

Quanto às saídas, a área de descarga mais importante é exsurgência de Alcabideque cujas saídas médias se estimam em 12 hm³/ano.

3.3.3.4 – Qualidade

Águas geralmente bastante mineralizadas, com fácies predominantemente bicarbonatada, cálcica, estando também representadas fácies sulfatada cálcica e mistas. Existe uma grande variabilidade na distribuição espacial da fácies, dependendo a composição das camadas captadas e da maior ou menor influência de massas de gesso próximas.

A qualidade química das águas deste sistema é, em geral fraca, pois os VMRs relativos à condutividade, magnésio, cloreto, sulfato e cálcio, são excedidos na maior parte das amostras, verificando-se também um número significativo de violação dos VMAs relativos à dureza, magnésio e sulfato.

São os cloretos e sulfatos os parâmetros que mais excedem os VMRs, sendo a sua qualidade em geral fraca.

As águas pertencem predominantemente à classe C₂S₁ (57%), seguindo-se a classe C₃S₁ com 38%, o que significa que apresentam um perigo de salinização do solo médio a alto e um perigo de alcalinização do solo baixo.

Capítulo 4

Climatologia

4.1 – Temperatura

4.2 – Precipitação

4.3 – Insolação, humidade relativa, nebulosidade e nevoeiro

4.4 – Vento

4.5 – Balanço Hídrico

O clima é o principal factor que faz variar os níveis hidrogeológicos, quer no interior quer no exterior do maciço rochoso.

A relação entre os processos de geodinâmica externa e o clima é evidente, ocupando o clima a posição intermédia entre a energia solar e o agente geológico, tendo um efeito directo no balanço energético à superfície e na atmosfera do nosso planeta (Vera, 1987).

Conforme sistematiza D. Orera (1994) o conhecimento do clima apresenta-se sob várias formas importantes de aplicação ao ordenamento do território:

- como indicador das condições ambientais (índice bioclimáticos e/ou de aptidão bioclimática);
- como condicionante da localização (capacidade dispersante da atmosfera e a sua direcção dominante, conforto climático);
- como condicionante da distribuição e alteração dos elementos climáticos (chuva, vento, insolação, neve, etc.);
- como recurso (hídrico, avaliação energética da insolação, dos ventos).

As condições climáticas do espaço em que se integra a área em estudo, à semelhança do resto do País, são marcadas pela *influência mediterrânea*. Esta influência é caracterizada por Verões em que se registam temperaturas elevadas, luminosidade forte, grande insolação e carência de chuvas, e por Invernos em que a aragem marítima atlântica ameniza a amplitude anual (Ribeiro, 1991) ¹.

¹ - Em << Portugal o Mediterrâneo e o Atlântico >> o autor caracteriza o clima português como: “ No Verão, o clima mediterrâneo reina por toda a parte, no litoral e no interior, na terra chã e nas serranias. Mas a duração dele é menor na costa ocidental, nas serras e no Norte, máximo no Sul. Durante o Inverno, em avançadas breves, pode sentir-se já a acção da frente polar, com massas de ar frio que reforçam as do centro da Península. O elemento característico do clima oceânico e da sua extrema variação é porém, a passagem de perturbações vindas do Ocidente e o avanço de massas de ar que, ao percorrerem os oceanos, se carregam de humidade. Esta influência atlântica, trazida pelos ventos dos quadrantes de oeste, domina o clima português: apenas uma época do ano a atenua – O Verão – e uma faixa de território lhe escapa por mais tempo – O Sul.” (Ribeiro, 1991)

Assinala-se, assim, a presença contrastante de duas estações, tanto do ponto de vista térmico como do ponto de vista pluviométrico (Cunha, in CCRC, 1992)².

C.Morais (1966) integra a área em estudo na Região Climática da Beira Litoral, caracterizada por dois meses áridos e com oscilações entre temperaturas máximas e mínima com média anual de 19,8 °C.

- O enquadramento climático inclui a descrição de elementos de **temperaturas, vento e precipitação** e, ainda, de outros elementos menores como a **humidade relativa, insolação, nebulosidade e nevoeiro**.

A descrição dos elementos baseia-se nos registos referentes ao período 1931-1996, para as estações climatológicas de Condeixa (13G/02), Taveiro (12G/03), Lousã (13H/03) e ao período de 1961 -1990 nas estações meteorológicas do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC) e do Instituto Superior de Ciências Agrárias de Coimbra (Bencanta).

4.1 – Temperatura

A observação dos registos das temperaturas mínimas e máximas médias mensais nas estações meteorológicas do IGUC e Bencanta, para o período de 1961-1990, e ainda para a série secular da primeira estação, permitem observar:

- a temperatura apresenta um limiar inferior próximo dos 5°C, de Dezembro a Fevereiro, e um limiar superior próximo dos 28°C para Julho e Agosto;
- a temperatura máxima média revela pequenas diferenças entre estações e para a série secular do IGUC (20,8°C);
- a temperatura mínima média revela diferenças superiores a 1°C entre as estações do IGUC e Bencanta, com valores inferiores para a última, nos meses de Agosto a Janeiro. Consideradas “séries normais”.

As temperaturas máximas absolutas registadas no IGUC, apresentam segundo N.Ganho (1998), um valor máximo absoluto de 48,5°C em Julho de 1944.

² - “ A um Verão quente e praticamente seco, opõe-se um Inverno com temperaturas suaves e, em regra, fortemente pluvioso. As estações intermédias, Primavera e Outono, apresentam características de tempo bastante variável entre situações normalmente tidas como típicas ora de Verão, ora de Inverno”.

As temperaturas registam um valor mínimo absoluto de $-4,0^{\circ}\text{C}$, no IGUC para o período 1891-1990 (*op. cit.*).

Segundo J. Faria, Godinho & Machado (1978) o **número de dias com temperatura mínima absoluta** $<0^{\circ}\text{C}$, no período 1941-1970, para as estações do IGUC e Bencanta, são respectivamente de 4,6 e 14 dias; para o **número de dias com temperatura máxima absoluta** $> 25^{\circ}\text{C}$, estes autores indicam respectivamente, 120,9 e 101,9 dias, L.Cunha (in CCRC,1992b), para o período 1951-1980, aponta respectivamente 4,1 e 13,4 dias e 107,8 e 96,2 dias.

N. Ganho (1998), para o período 1961-1990, assinala que o **número de dias com temperatura máxima** $>25^{\circ}\text{C}$, é em média de 7,7 dias, superior na estação do IGUC relativamente à estação de Bencanta; refere ainda, que o **número de dias com temperatura mínima** $<0^{\circ}\text{C}$, registados na estação de Bencanta apresentam um valor médio superior em 8,7 dias, relativamente ao IGUC.

4.2 – Precipitação

A análise do elemento precipitação baseia-se em dados obtidos pelas estações climáticas de Condeixa (13G/02), Taveiro (12G/03) e da Lousã (13H/03). Na zona em questão, as precipitações são fortemente condicionadas pelas *formas de relevo*, conforme referem S Daveau *et col.* (1977), L.Cunha (in CCRC, 1992b) e N.Ganho (1998). Figura.4.1

As vertentes ocidentais do Maciço Hespérico constituem, para os primeiros autores, uma forma de relevo que provoca, geralmente, a ascendência e/ou a divergência das *massas de ar* susceptíveis de provocar abundantes precipitações. Estas massas de ar são canalizadas ao longo do relevo da margem direita que provoca a subsidência e a permanência das mesmas. Ainda, segundo a mesma obra citada anteriormente, o espaço em estudo localiza-se na *região pluviométrica central de transição, e com carácter intermédio*, de Portugal.

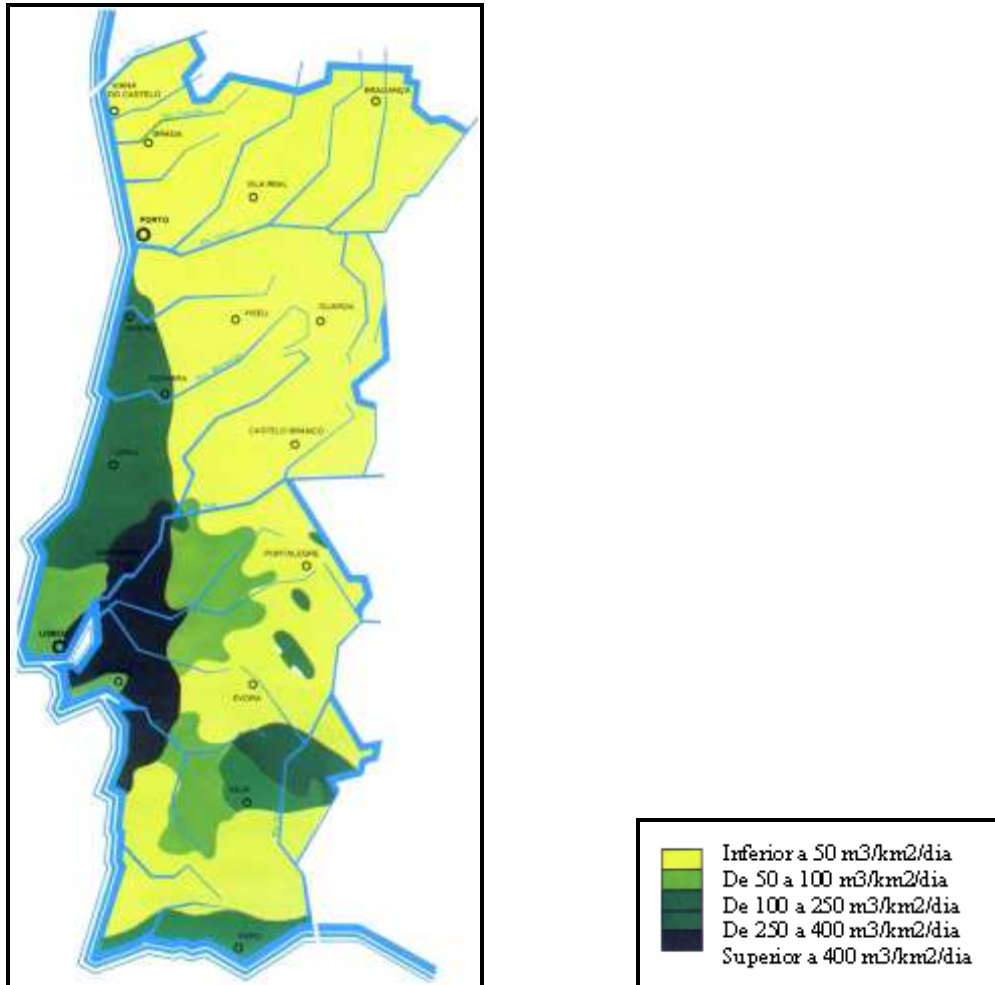


Figura.4.1 – Valores de Precipitação

Outro parâmetro de análise da distribuição da precipitação corresponde à determinação do número de dias com registos de precipitação em cada ano.

- A análise da distribuição da precipitação média mensal, dos valores acumulados da mesma, e do maior número de dias/mês com precipitação, permite considerar que a importância da mesma, como factor desencadeante da instabilidade é, genericamente incrementada a partir do mês de Dezembro, no qual se atinge a quantidade crítica normal de precipitação, na acepção de J. Méneroud (1983), com variações rápidas nas pressões intersticiais, mantendo-se até Março.

- A precipitação funciona ainda como factor desencadeante, em períodos “anormais” para a época, nomeadamente da erodibilidade, ao se ultrapassar valores de energia cinética do índice de *Wishmeier & Smith* (in Morgan, 1979);

- A variação espacial da precipitação, e de outros elementos climáticos, reflecte as características fisiográficas do espaço.

Nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 temos valores das precipitações médias mensais e anuais (17 anos de observações) das estações de Taveiro, Condeixa-a-Nova e Lousã e na figura 4.2 um gráfico de frequências das estações em questão. Os valores mais altos registados na estação da Lousã reflectem a influência da maior altitude desta estação.

ANOS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	T. ANUAL	Prc.Mx 24H
1979 - 80	265.90	75.90	115.60	76.20	71.30	87.40	51.30	86.40	20.60	0.00	1.60	7.80	860.00	54.40
1980 - 81	96.10	103.00	22.10	0.60	45.80	75.90	74.50	95.20	9.50	0.00	6.20	64.20	593.10	32.60
1981 - 82	119.40	0.00	355.90	82.70	93.00	5.40	48.20	57.90	23.60	7.90	18.30	90.00	902.30	56.50
1982 - 83	68.50	159.20	113.30	12.40	91.00	7.10	200.40	121.20	31.80	8.20	0.60	0.00	813.70	43.20
1983 - 84	41.70	173.20	192.40	109.40	26.20	132.00	145.40	133.30	106.70	1.40	12.40	30.80	1104.90	42.40
1984 - 85	107.10	215.60	79.20	168.30	183.10	73.80	93.20	65.20	41.10	9.00	0.60	3.60	1039.80	34.60
1985 - 86	14.20	156.30	182.70	151.90	222.30	41.90	88.30	11.30	18.90	0.00	14.00	70.70	972.50	44.20
1986 - 87	20.70	120.80	93.80	131.90	138.10	57.00	115.60	7.70	33.00	5.80	51.00	153.20	928.60	49.40
1987 - 88	169.20	47.70	139.40	161.50	101.10	6.50	91.60	107.80	102.60	74.10	0.00	11.80	1013.30	38.70
1988 - 89	109.00	47.50	23.60	28.20	145.50	45.90	97.90	110.10	9.30	2.50	24.00	20.70	664.20	39.80
1989 - 90	97.70	248.80	255.10	139.90	48.70	10.00	109.60	17.90	4.00	5.40	15.10	35.70	987.90	68.20
1990 - 91	214.50	129.10	89.80	103.60	149.80	183.20	30.10	0.00	13.20	2.00	13.30	44.00	972.60	55.50
1991 - 92	99.20	72.60	85.50	88.70	30.90	36.70	76.70	33.10	58.50	6.00	55.80	37.70	681.40	46.40
1992 - 93	124.20	48.30	120.00	42.40	53.70	24.20	140.10	115.10	59.20	0.20	0.00	138.70	866.10	78.20
1993 - 94	252.50	158.80	49.10	135.80	121.80	7.70	32.30	175.90	3.60	7.80	6.80	16.80	968.90	47.40
1994 - 95	115.40	103.70	27.90	130.70	153.20	32.20	34.00	35.60	0.80	3.40	0.00	38.80	675.70	49.20
1995 - 96	38.80	133.30	235.50	295.00	180.50	80.90	40.00	131.00	0.00	5.40	5.20	50.50	1196.10	62.20
Média	114.9	117.3	128.3	109.4	109.2	53.4	86.4	76.7	31.6	8.2	13.2	47.9	896.5	78.20

Tabela 4.1 – Tabela de Valores de precipitação mensais e anuais na estação Taveiro (12G/03).

ANOS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Total ANUAL	Prc.Mx 24H
1979 - 80	F	F	F	F	F	F	F	F	F	5.7	20	9.5	*****	F
1980 - 81	20.00	106.00	29.00	0.00	19.00	53.00	119.00	23.20	12.50	5.30	5.10	61.20	453.30	40.00
1981 - 82	94.20	1.00	326.70	78.40	118.00	11.20	53.50	61.40	28.70	5.60	19.40	88.00	886.10	36.50
1982 - 83	67.70	149.10	93.80	9.50	70.70	8.50	186.30	135.30	33.60	3.50	4.50	8.00	770.50	41.00
1983 - 84	50.70	172.40	202.30	132.30	28.10	143.50	109.40	101.60	102.80	5.10	13.70	14.50	1076.40	43.10
1984 - 85	90.70	235.30	85.60	141.70	185.60	95.50	122.90	88.80	118.10	5.30	1.00	2.90	1173.40	43.50
1985 - 86	11.00	208.70	190.30	161.60	215.60	39.40	88.10	9.10	18.40	0.00	11.70	65.10	1019.00	71.00
1986 - 87	33.60	89.70	76.90	122.50	128.00	55.50	123.80	13.80	34.00	8.50	51.10	117.00	854.40	45.00
1987 - 88	195.50	48.50	123.40	180.10	124.30	4.40	114.30	114.40	132.70	53.60	0.00	11.00	1102.20	41.00
1988 - 89	37.00	29.10	27.80	31.00	112.30	34.80	104.00	81.70	4.90	2.00	22.50	12.30	499.40	37.00
1989 - 90	89.40	205.20	241.60	138.50	35.30	8.00	112.30	26.60	4.70	6.90	24.40	47.20	940.10	53.20
1990 - 91	220.30	114.50	77.10	87.00	134.40	163.60	32.00	0.00	26.40	5.50	9.60	36.60	907.00	52.50
1991 - 92	101.30	56.70	51.30	50.50	23.60	19.70	93.10	63.80	49.30	0.00	37.00	42.60	588.90	35.50
1992 - 93	109.10	47.90	102.80	33.10	43.00	27.00	144.80	115.20	46.30	0.50	0.00	135.50	805.20	48.00
1993 - 94	243.60	151.20	41.10	126.50	138.50	4.50	42.50	138.70	9.20	3.40	15.80	23.80	938.80	39.00
1994 - 95	134.10	108.10	31.30	121.60	114.90	33.50	44.40	32.40	25.70	1.10	0.00	51.80	698.90	77.00
1995 - 96	43.30	111.80	248.70	338.20	150.20	86.70	36.50	127.10	1.00	9.80	3.60	49.40	1206.30	59.50
Média	96.3	114.7	121.9	109.5	102.6	49.3	95.4	70.8	40.5	7.3	13.7	47.9	870.0	77.00

Tabela 4.2 – Tabela de Valores de precipitação mensais e anuais na estação Condeixa (13G/02).

ANOS	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Total ANUAL	PrcMx 24H
1979 - 80	241.90	108.40	143.50	81.00	53.40	83.00	68.30	112.00	34.20	1.60	25.70	35.00	988.00	31.10
1980 - 81	87.80	87.60	73.90	3.90	55.50	91.90	88.20	107.30	21.90	2.30	2.20	60.70	683.20	43.50
1981 - 82	62.50	1.10	477.10	143.00	140.20	6.50	84.30	54.10	28.10	19.00	25.30	117.40	1158.60	49.20
1982 - 83	69.70	169.10	121.60	12.10	64.00	13.90	232.50	137.90	42.10	13.20	10.00	5.30	891.40	52.80
1983 - 84	35.90	221.20	188.70	137.10	37.50	164.40	84.90	154.00	135.50	7.10	21.10	17.40	1204.80	50.20
1984 - 85	104.80	210.80	144.70	171.90	219.50	119.00	122.80	92.70	48.30	12.50	0.00	7.00	1254.00	45.20
1985 - 86	13.90	146.00	95.90	203.70	163.40	36.10	98.90	4.20	17.80	0.00	9.10	73.70	862.70	33.10
1986 - 87	208.30	20.60	166.50	193.80	107.30	6.20	160.60	109.40	179.40	49.70	0.00	1.20	1203.00	63.20
1987 - 88	32.40	94.00	92.40	162.10	167.40	40.40	174.60	26.10	30.40	21.10	15.40	95.40	951.70	42.10
1988 - 89	116.60	79.40	21.90	21.70	129.30	40.40	145.00	97.70	8.70	0.00	25.30	4.20	690.20	32.50
1989 - 90	123.10	267.70	294.60	155.10	36.70	6.20	123.40	16.40	4.30	12.30	25.10	55.80	1120.70	66.10
1990 - 91	282.90	113.50	76.70	73.30	130.00	239.30	50.50	0.00	36.80	0.00	14.60	42.60	1060.20	53.30
1991 - 92	88.90	97.60	36.50	55.10	40.30	39.50	129.50	47.40	84.30	0.00	26.00	48.80	693.90	37.30
1992 - 93	129.50	33.60	124.20	28.10	36.10	27.40	134.20	152.70	54.00	0.00	6.70	89.50	816.00	30.20
1993 - 94	293.70	156.90	34.30	132.60	163.70	0.00	55.00	184.40	14.00	0.00	17.80	17.30	1069.70	50.70
1994 - 95	122.40	107.30	43.10	166.10	116.40	37.20	58.00	54.40	38.80	0.00	0.00	19.40	763.10	46.00
1995 - 96	65.10	171.30	284.10	371.30	208.00	83.90	46.70	122.20	0.00	9.70	1.50	50.00	1413.80	70.50
Média	122.32	122.71	142.34	124.23	109.92	60.90	109.26	86.64	45.80	8.74	13.28	43.57	989.71	46.88

Tabela 4.3 – Tabela de Valores de precipitação mensais e anuais na estação Lousã (13H/03).

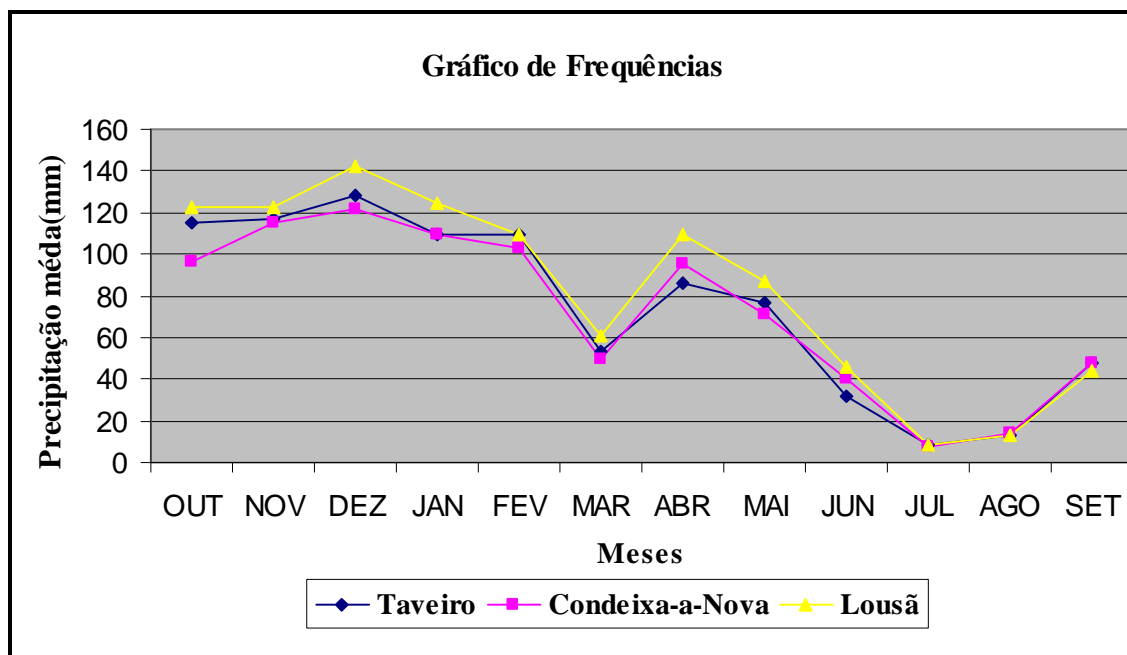


Figura 4.2 – Precipitações médias mensais das estações Taveiro, Condeixa - a - Nova e Lousã.

4.3 – Insolação, humidade relativa, nebulosidade e nevoeiro

Com a apresentação de elementos como a insolação, humidade relativa, nebulosidade e nevoeiro, procura-se complementar a descrição dos elementos maiores, e dos quais dependem muitas vezes.

De acordo com vários autores, as vertentes ocidentais do Maciço Hespérico constituem vertentes nebulosas, onde se verifica a estagnação da “capa” *nebulosa* ou a ascensão forçada das *massas de ar húmido*, sendo o espaço em estudo, marcado pela penetração de nevoeiros de *advecção litoral*³, por nevoeiros de *irradiação das baixas continentais*⁴ localizadas a Este e a Sudoeste, e ainda pela presença de nevoeiros do *tipo misto*, resultante da interferência dos tipos anteriores.

³ - Resultantes da condensação da humidade da atmosfera em contacto com as águas marinhas frescas, e avançando para o interior ao nível do solo ou sob a forma de baixos estratos, e constituindo um fenómeno estival. (Daveau et col., 1985b).

⁴ - Resultantes da irradiação local e/ou deslize, ao longo das vertentes, do ar arrefecido e denso, acumulando-se em zonas topograficamente baixas, com ocorrência frequente entre o Outono e a Primavera. (Daveau et col., 1985b).

4.4 – Vento

A análise do **vento** baseia-se nas observações da série secular registada no IGUC, figura 4.3.

L.Cunha (in CCRC, (1962b), para o período 1951-1980, ao salientar a influência da disposição dos relevos e acidentes na direcção e velocidade do vento, apresenta, para os meses de Janeiro e Julho na estação do IGUC, características semelhantes para a velocidade média mensal e para as direcções predominantes; assinala ainda, para a estação de Bencanta velocidades inferiores a 50% às registadas no IGUC, mas com direcções semelhantes, e a que correspondem somente cerca de 10% de dias com velocidade superior a 36 km/h.

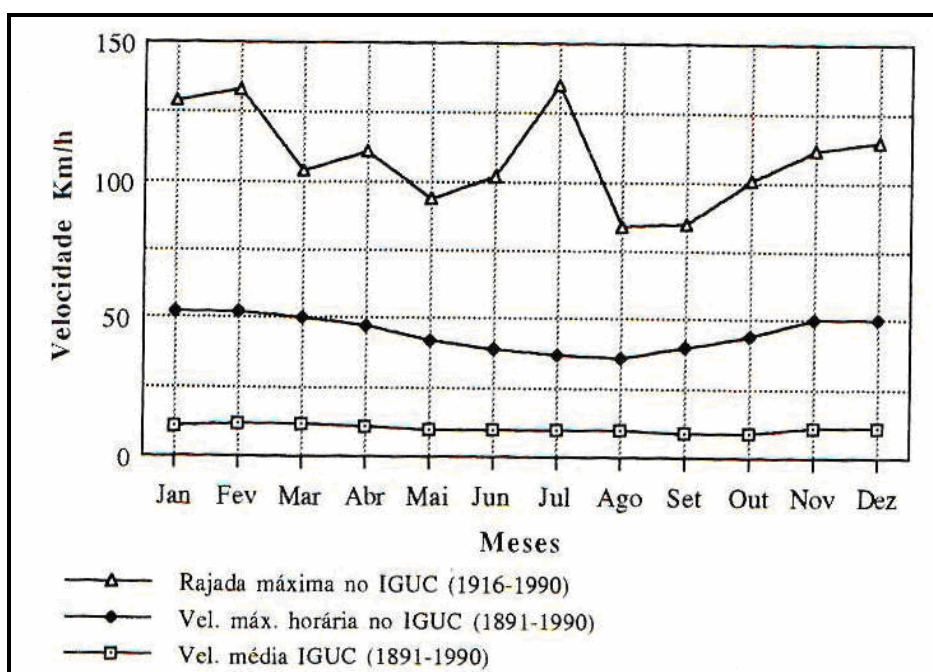


Figura 4.3 – Velocidade média mensal, velocidade máxima horária e rajada máxima do vento registados nas estações do IGUC.

L. Lourenço (1987) apresenta para o período de 1975/1986 uma caracterização do regime de ventos no IGUC, em que é salientada, a anteriormente referida, variação *intra-anual dos rumos*, a que se associa uma *rotação diária*; esta rotação reflecte o predomínio durante o dia dos ventos com rumo de NW e, durante a noite e início da manhã, dos que sopram do quadrante E-SE.

4.5 – Balanço Hídrico

Termos do Balanço Hidrológico	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
1 - P	132	95	132	76	76	38	13	18	48	87	105	142	962
2 - $ET_p(^*)$	22	34	68	96	135	146	160	142	91	62	29	18	1003
3 - $P - ET_p$	110	61	64	-20	-59	-108	-147	-124	-43	25	76	124	-41
4 - L	-----	-----	-----	-20	-79	-187	-334	-458	-501	-----	-----	-----	-501
5 - S_{so}	100	100	100	82	45	15	4	1	1	26	100	100	-----
6 - ΔS_{so}	0	0	0	-18	-37	-30	-11	-3	0	25	74	0	0
7 - ET_e	22	34	68	94	113	68	24	21	48	62	29	18	601
8 - DH	-----	-----	-----	2	22	78	136	121	43	-----	-----	-----	402
9 - SH	110	61	64	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0	2	124	361

Calculado pelo método de Penman

Tabela 4.3 – Tabela com um Balanço Hidrológico Sequencial Mensal (Capacidade utilizável - 100 mm; Valores meteorológicos médios de 30 anos em Coimbra).

(Retirado de Lencastre e Franco, 2006).

Em estudos de índole hidrogeológica, é imprescindível a elaboração de balanços hídricos que permitam avaliar, de forma objectiva, se a região é excedentária, equilibrada ou deficitária em recurso hídricos. Para isso é necessário obter um conjunto de dados climatológicos que tornem possível o cálculo de certas parcelas do Ciclo Hidrológico, tais como a Evapotranspiração. Também as características dos solos devem ser tidas em conta para se poder determinar valores adequados de parâmetros como a capacidade de campo, o ponto de emurchecimento permanente, a altura de água utilizável pelas plantas, etc.

No curto espaço de tempo em que foi desenvolvida esta tese não foi possível obter os dados necessários para elaborar estes cálculos. Por isso apresentamos o balanço hidrológico sequencial mensal que consta no livro “Lições de Hidrologia” (Lencastre e Franco, 2006) e que foi elaborado com dados da estação de Coimbra.

A análise deste balanço permite concluir que, em termos médios, considerando as entradas por precipitação (cerca de 960 mm/ano), as saídas referentes à evapotranspiração real (600 mm/ano), há um superavit hídrico da ordem dos 360 mm/ano. É esta, (como ordem de grandeza), a quantidade de água que pode dar

origem ao escoamento total, isto é, ao escoamento superficial e ao subterrâneo. As reservas hídricas subterrâneas são, por conseguinte, uma parte desta água excedentária, a chamada infiltração profunda. Em locais devidamente seleccionados, poder-se-á controlar a evolução dos níveis piezométricos e, tendo em conta a porosidade eficaz das formações onde esses pontos de controlo se encontram, poder-se-á avaliar a renovação das reservas subterrâneas.

CAPÍTULO 5

Qualidade da água

- 5.1 – Considerações gerais sobre a qualidade da água
 - 5.1.1 – Interacção água - mineral
 - 5.1.2 – Constituintes das águas subterrâneas
 - 5.1.3 – Factores e agentes determinantes da qualidade das águas subterrâneas
 - 5.1.3.1 – Naturais
 - 5.1.3.2 – Antrópicos
 - 5.1.4 – Classificação das águas subterrâneas
- 5.2 – Hidroquímica Estudada - Componentes em análise
 - 5.2.1 – Parâmetros Organolépticos
 - 5.2.1.1 – Cor
 - 5.2.1.2 – Turvação
 - 5.2.1.3 – Sabor e Cheiro
 - 5.2.2 – Parâmetros Físico - químicos
 - 5.2.2.1 – Temperatura
 - 5.2.2.2 – pH
 - 5.2.2.3 – Condutividade eléctrica
 - 5.2.2.4 – Sólidos Dissolvidos
 - 5.2.2.5 – Dureza Total
 - 5.2.2.6 – Alcalinidade
 - 5.2.2.7 – Cloretos
 - 5.2.2.8 – Sulfatos
 - 5.2.2.9 – Bicarbonato
 - 5.2.2.10 – Nitrato
 - 5.2.2.11 – Nitrito
 - 5.2.2.12 – Sódio
 - 5.2.2.13 – Potássio
 - 5.2.2.14 – Cálcio
 - 5.2.2.15 – Magnésio
 - 5.2.2.16 – Sílica
 - 5.2.2.17 – Alumínio
 - 5.2.2.18 – Oxigénio dissolvido
 - 5.2.2.19 – Ferro
 - 5.2.2.20 – Manganésio
 - 5.2.3 - Parâmetros microbiológicos
 - 5.2.3.1 - Coliformes totais
 - 5.2.3.2 - Coliformes do tipo fecal
 - 5.2.3.3 - Streptococos fecais
 - 5.2.3.4 - Clostrídios sulfitorreductores
- 5.3 – Métodos para a representação Hidroquímica da água subterrânea
 - 5.3.1 – Diagrama de Piper
 - 5.3.2 – Diagrama de Schoeller-Berkaloff
 - 5.3.3 – Diagrama de Stiff

5.1 – Considerações gerais sobre a qualidade da água

Os processos naturais – físicos, biológicos e geoquímicos – de purificação da água, à medida que esta circula de forma permanente no ambiente – atmosfera, superfície do terreno e subsolo – proporcionam, regra geral, boa qualidade para o consumo humano ou potabilidade. Todavia, com o crescimento acelerado e desordenado da urbanização, industrialização e das actividades agrícolas com o uso intensivo de produtos químicos, lançamento de esgotos e efluentes industriais não tratados nos rios e lagos, deposição inadequada de resíduos sólidos domésticos e industriais no ambiente, essa capacidade foi rapidamente superada, registrando-se uma degradação da qualidade das águas, em níveis nunca imaginados.

Como resultado, as águas de rios e lagos de muitas das regiões mais povoadas do mundo já perderam a sua característica natural de potabilidade, exactamente lá onde estas são mais necessárias. Os historiadores assinalam que alguns povos antigos tiveram os seus processos de desenvolvimento interrompidos, vítimas de doenças decorrentes da degradação da qualidade das águas dos rios ou lagos de onde se abasteciam. Ressaltam, todavia, que esses povos tiveram a percepção de que a água subterrânea estava, relativamente, melhor protegida dos agentes de degradação que afectam a qualidade das águas dos rios, lagos e outras massas de superfície. Além disso, esses povos antigos perceberam que as secas periódicas, característica das regiões de clima árido ou semi-árido, só afectam as águas subterrâneas com grande atraso. Em consequência, as águas subterrâneas nesses contextos climáticos transformaram-se, desde cedo, em manancial estratégico para abastecimento humano, animal e irrigação.

As águas circulantes no nosso Planeta nunca ocorrem em estado totalmente puro, formam soluções de numerosas substâncias, regra geral muito diluídas. A água das chuvas não é isenta de sais mas é muito pouco mineralizada, a sua permanência durante um tempo mais ou menos longo, em contacto com formações rochosas, permite-lhe adquirir grande número de componentes químicos, por vezes em quantidades elevadas, transformando-se num produto característico da região onde ocorre e circula.

A molécula de H_2O apresenta propriedades físicas e químicas singulares, como uma elevada assimetria e uma grande polaridade. Existem outras características que a distinguem tais como: maior tensão superficial, densidade máxima ($= 1Kg/l$) a $4^{\circ}C$, baixa condutividade eléctrica, $pH = 7$ a $25^{\circ}C$. Estas características tornam a água quimicamente

- pH
- Temperatura
- Pressão atmosférica
- Pressão parcial dos gases
- Pressão nos poros
- Eh potencial oxi-redução (oxigénio disponível / carência de oxigénio)
- Presença e tipo de seres vivos
- Composição do solo e da rocha

5.1.2 – Constituintes das águas subterrâneas

Relativamente às substâncias presentes na água, verifica-se que elas ocorrem em diferentes formas, nomeadamente como iões simples, iões complexos, moléculas e na forma coloidal. De acordo com a concentração média, as substâncias dissolvidas podem ser agrupadas em três conjuntos: constituintes maioritários (principais), constituintes minoritários (ou secundários) e constituintes vestigiais (ou traço) (Tabela 5.1).

O tipo de substâncias que ocorrem nas águas subterrâneas podem agrupar-se em:

- Constituintes orgânicos
- Constituintes inorgânicos – os mais importantes são os catiões (cálcio, potássio, magnésio e sódio) e os aniões (cloreto, sulfato e bicarbonato).

Igualmente importante é a presença do ião hidrogénio cuja concentração se expressa pelo designa por pH. A maioria das águas subterrâneas tem pH entre 6 e 8.5 sendo conhecidos casos com valores inferiores e superiores a estes limites.

Dar-se-á atenção particular aos constituintes inorgânicos uma vez que os orgânicos estão claramente associados à actividade humana.

Constituintes maioritários				
Ião	Origem	Características		
Cl ⁻	Evaporitos marinhos Mistura com água do mar Emanações vulcânicas Águas juvenis	Muito solúvel Estável em solução Não oxida nem reduz Associado ao Na ⁺		
SO ₄ ⁼	Oxidação de sulfuretos Dissolução de gesso Solos marinhos Emanações vulcânicas	Moderadamente a muito solúvel Em ambiente redutor passa a S ou S ⁼ Difícilmente precipita		
HCO ₃ ⁻	Dissolução de CO ₂ Solução de rochas carbonatadas Oxidação de matéria orgânica	Precipita facilmente como CaCO ₃ Equilíbrio com CO ₃ ⁼ dependente do pH (pH<8,3:[CO ₃ ⁼] « [HCO ₃ ⁻])		
	Emanações magmáticas			
Ca ⁺⁺	Dissolução de rochas carbonatadas e de gesso Hidrólise de silicatos de Ca	Solubilidade média a elevada Precipitação como CaCO ₃		
Mg ⁺⁺	Dissolução de dolomias Hidrólise de silicatos de Mg Evaporitos magnesianos	Mais solúvel que Ca ⁺⁺		
Na ⁺	Hidrólise de silicatos de Na Sedimentos marinhos Emanações Vulcânicas Mistura de água marinha	Solubilidade elevada associado ao Cl ⁻ e ao F ⁻		
K ⁺	Hidrólise de silicatos K Evaporitos de potássio	Solubilidade elevada Facilmente absorvido por argilas		
Constituintes minoritários				
NO ₃ ⁻	Produto de acção bacteriana Decomposição de matéria orgânica Emanações vulcânicas	Muito solúvel Muito estável Em meio redutor passa a N ₂ e NH ₄ ⁺		
SiO ₂	Hidrólise de silicatos	Importante em águas básicas Parcialmente dissolvido Parcialmente coloidal		
Fe ²⁺	Hidrólise de silicatos Fe Óxidos e sulfuretos de Fe Rochas sedimentares	Em meio oxidante passa a Fe ³⁺ que precipita		
Traço				
Mercúrio	Selénio	Lítio	Rubídio	Cobre
Arsénio	Níquel	Rádio	Berílio	Zinco
Germânio	Vanádio	Boro	Bário	Crómio
Prata	Urânio	Cobalto	Molibdénio	Cádmio
Chumbo				
Gases dissolvidos				
CO ₂	Dissolução de CO ₂ atmosférico Deposição de matéria orgânica	Concentrações importantes Águas agressivas		
O ₂	Dissolução de O ₂ atmosférico Fotossíntese	Indispensável à maioria dos seres vivos aquáticos Torna a água corrosiva		

Tabela 5.1 – Principais substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas (adaptado de Azevedo, 2001).

5.1.3 – Factores e agentes determinantes da qualidade das águas subterrâneas

A composição química das águas subterrâneas é influenciada por muitos factores como sejam, a natureza e quantidade de gases da atmosfera, os produtos resultantes da alteração das rochas, as reacções de dissolução, de precipitação que ocorrem no subsolo e as actividades do Homem. As plantas também influenciam a composição das águas, uma vez que elas extraem do solo certos componentes químicos e fornecem-lhe outros, nomeadamente durante a sua decomposição.

Os processos de contaminação de águas subterrâneas estão intimamente relacionados com o modo como se processa a recarga e o escoamento da água nos aquíferos. A poluição, isto é, a maior ou menor susceptibilidade de um aquífero ser poluído, depende directamente do tipo de solo, da profundidade da zona vadosa, do material do aquífero e da condutividade hidráulica. Estes factores afectam directamente o escoamento e o tempo de contacto entre a água e os poluentes retidos no solo. O movimento das águas subterrâneas faz parte integrante do ciclo hidrológico.

5.1.3.1 – Naturais

De acordo com Ferreira *et al.* (1995), a qualidade química das águas subterrâneas é condicionada pelas diferentes formações rochosas por onde circula as quais lhe conferem determinadas características e também pelo tempo de contacto água /rocha.

Uma vez que as águas subterrâneas circulam lentamente e/ou permanecem muito tempo em contacto com as formações rochosas que atravessam, é de esperar que exista uma relação mais ou menos acentuada entre a litologia dessas formações e a composição química das águas. Esta relação é complexa, pois os processos de interacção são muito complexos, acontecendo que diferentes litótipos podem fornecer águas de composição química muito semelhante. Recorda-se que existem outros factores tais como: o clima e o coberto vegetal que desempenham um papel fundamental na qualidade das águas. Assim, por vezes é difícil encontrar relações biunívocas claras entre a litologia dos terrenos e a qualidade das águas que os atravessam. No entanto, em termos gerais e em condições naturais, as rochas ígneas e metamórficas geralmente fornecem água de boa a excelente qualidade, com baixas concentrações em sais dissolvidos. A água que circula nas rochas sedimentares é de boa qualidade. Contudo, por vezes as águas dos arenitos podem ser mais

ricas em sódio, as provenientes dos calcários mais ricas em cálcio, magnésio e bicarbonato enquanto que os argilitos poderão produzir águas ácidas e com elevados teores em ferro e sulfatos. Os maciços sedimentares com depósitos ou mesmo apenas com intercalações de natureza evaporítica, tal como o sal-gema, podem produzir águas muito salinas, impróprias para consumo doméstico e agrícola.

A profundidade e o tempo de residência das águas também influenciam a sua composição química. De facto, as águas mais profundas seguem percursos mais longos e, portanto, permanecem, mais tempo em contacto com as rochas, tornando-se assim mais ricas em sais dissolvidos. Neste sentido, as águas superficiais das formações ígneas e metamórficas são em geral pobres em sais, enquanto que essas mesmas formações podem fornecer águas com elevadas concentrações como são as de algumas nascentes e captações de águas minero-medicinais.

5.1.3.2 – Antrópicos

A qualidade das águas é frequentemente alterada como resultado indirecto ou directo das actividades urbanas, agrícolas, pecuárias e industriais. Todas estas actividades contribuem para a deposição não controlada de poluentes no solo que são posteriormente lixiviados e transportados pela água da chuva durante a infiltração para as águas subterrâneas.

As actividades com maior influência na alteração / deterioração da qualidade das águas são usualmente agrupadas em actividades urbanas, agropecuárias e industriais.

Todas as actividades humanas introduzem modificações muito significativas e diversificadas na composição das águas subterrâneas. A rejeição de efluentes industriais, domésticos e as actividades agrícolas adicionam componentes, alguns dos quais podem ser causa de degradação da qualidade da água. Esta degradação designa-se por poluição e o seu aumento exagerado pode levar até à impossibilidade de utilização da água para alguns usos.

A extracção de água de forma incontrolada nos aquíferos costeiros pode ser causa de contaminação. De facto a extracção exagerada de água doce pode provocar a entrada de água salgada no aquífero tornando-o, por isso, impróprio para o fornecimento de água. É útil lembrar que um aquífero, uma vez poluído, é praticamente irrecuperável pois o tempo necessário e os custos envolvidos na eventual recuperação são, normalmente, in comportáveis.

Existe também contaminação das águas subterrâneas provocada por elevadas concentrações de componentes azotadas. As fontes de contaminação geralmente estão relacionados com a actividade dos diferentes sectores económicos e os mecanismos de contaminação são condicionados pelas leis físicas e químicas que regulam os processos de incorporação do ião nitrato no aquífero.

A evolução destes mecanismos de contaminação é influenciada por dois factores segundo Ferreira *et al.* (1995):

- **Endógenos** do aquífero que podem favorecer, atrasar ou impedir a chegada do contaminante à massa de água. Estas características são os factores hidrogeológicos como a textura, a estrutura, as características geoquímicas, entre outros, que condicionam o grau de vulnerabilidade do aquífero. A percolação de massas hídricas contendo eventualmente nitratos, do solo para a água subterrânea, é influenciada pela profundidade do aquífero e pelo tipo de formações.

- **Exógenos** associados às condições climatológicas (pluviosidade, humidade e temperatura) e aos rios da intervenção humana na actividade potencialmente contaminante e distribuição espacial e temporal da sua aplicação no terreno.

Relativamente às fontes de contaminação, podem distinguir-se dois tipos principais, segundo a sua origem e distribuição espacial: (1) **pontuais**, que são relativamente fáceis de identificar porque se localizam em zonas de pequena extensão e, como consequência, as medidas correctivas na fonte não apresentam grandes dificuldades de implantação e (2) **difusas**, em que há uma grande quantidade de focos de entrada no sistema e dificuldade na localização precisa das zonas onde ocorre a entrada no sistema, dificuldade na localização precisa das zonas onde ocorre a entrada do contaminante no aquífero.

Os tipos de contaminação relacionam-se com distintas actividades humanas: a contaminação de origem pontual gera-se frequentemente em esgotos urbanos ou industriais, enquanto que são as actividades relacionadas com o sector agrícola, as mais representativas dos processos contaminantes de carácter difuso.

No que concerne a contaminação intermédia entre ambos os tipos, citam-se as fugas de águas residuais em condutas e redes de esgotos, assim como as perdas por lixiviação em locais de despejo não controlado

5.1.4 – Classificação das águas subterrâneas

As águas podem ser classificadas em função de diferentes elementos.

5.4.1.1 – Classificação simples (Segundo Custodio & Llamas, 1983)

a) Pelo resíduo seco

- Água Doce de 0 a 2000 ppm
- Água Salobra até 5000 ppm
- Água Salgada até 40000 ppm
- Águas Salmouras até saturação

b) Pela Dureza

- Branda de 0 a 50 ppm em CO_3Ca , por vezes até 60;
- Algo Dura até 100 ppm em CO_3Ca , por vezes até 120;
- Dura até 200 ppm em CO_3Ca , por vezes até 250;
- Muito Dura até saturação;

c) Propriedades Predominantes

- **Selenitosa** se tem mais de 500 a 600 ppm em SO_4 ;
- **Ferruginosa** se tem uma quantidade tal que produza um precipitado de óxido de ferro ao tomar contacto com o ar;
- **Carbónica** se tem bolhas de CO_2 á temperatura e pressão ambientes;
- **Lítica** se contém quantidades medíveis desse elemento;
- **Sulfídricas** se cheiram a ácido sulfídrico (às vezes chamadas impropriamente sulfurosas);

d) Classificação S.A.R (Sodium adsorption ratio)

Esta classificação tem em conta a condutividade da água e o valor SAR.

$$\text{SAR} = \frac{\text{rNa}}{\sqrt{(\text{r} (\text{Mg} + \text{Ca}) / 2))}}$$

r = meq/l

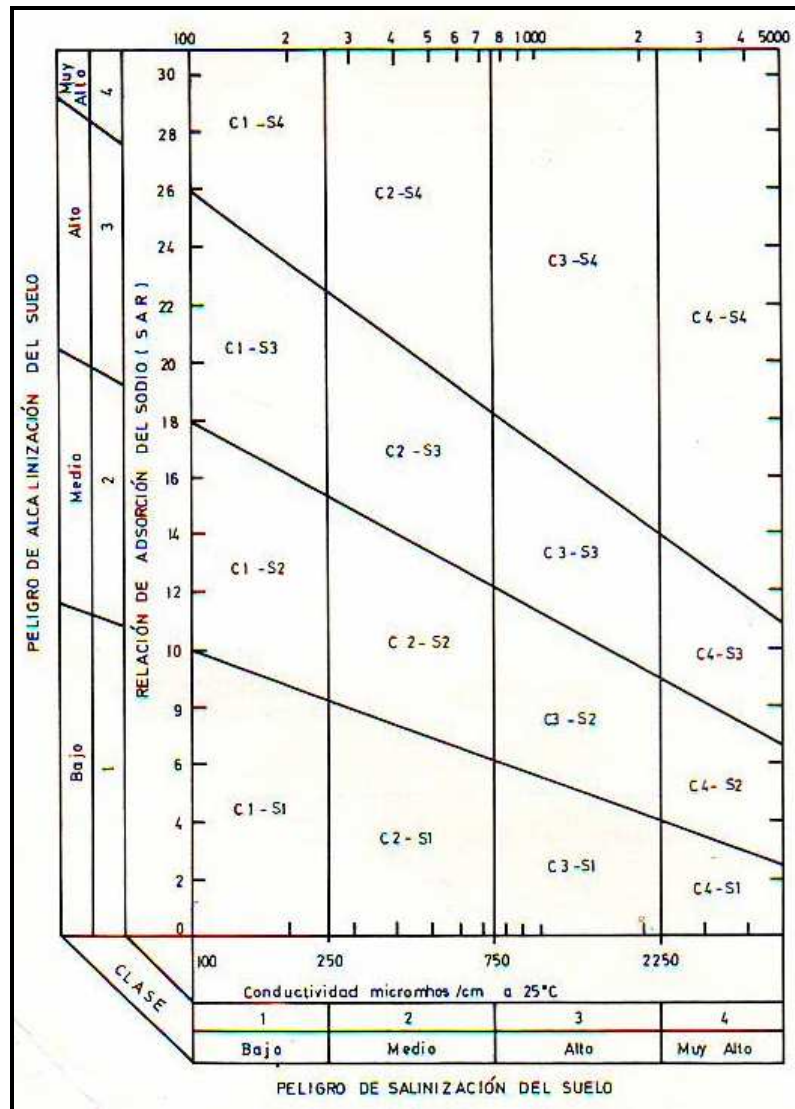


Figura 5.1 – Gráfico da classificação SAR.

5.4.1.2 – Classificação geoquímicas

a) Concentrações relativas dos iões predominantes:

Aniões

- 1 - $rCl > rSO_4 > rCO_3H$
- 2 - $rCl > rCO_3H > rSO_4$
- 3 - $rSO_4 > rCl > rCO_3H$
- 4 - $rSO_4 > rCO_3H > rCl$
- 5 - $rCO_3H > rCl > rSO_4$
- 6 - $rCO_3H > rSO_4 > rCl$

Catiões

a - $rNa > rMg > rCa$

b - $rNa > rCa > rMg$

c - $rMg > rNa > rCa$

d - $rMg > rCa > rNa$

e - $rCa > rNa > rMg$

f - $rCa > rMg > rNa$

Condutividade

C₁ – Condutividade a 25°C entre 0 e 250 $\mu S/cm$ (entre 0 e 215 a 18°C)

C₂ – Condutividade a 25°C entre 250 e 750 $\mu S/cm$ (entre 215 e 650 a 18°C)

C₃ – Condutividade a 25°C entre 750 e 2250 $\mu S/cm$ (entre 615 e 2000 a 18°C)

C₄ – Condutividade a 25°C maior que 2250 $\mu S/cm$ (maior que 2000 a 18°C)

Depois com as diferentes combinações temos diferentes tipos de água, como por exemplo:

- Bicarbonatada-cálcica (6.f.C₂)
- Sulfatada-bicarbonatada cálcica (4.f.C₃)
- Cloretada-sódica (2.b.C₃)

Existem outros tipos de classificações que não são descritas tais como: Classificação de Souliné, Classificação de Schoeller, e outras.

As águas com baixas concentrações de sais dissolvidos são hipossalinas, no entanto, se essa concentração de sais for considerável designa-se salobras, chamando-se hipersalinas quando os teores em sais são muito elevados devido à utilibilidade na agricultura, indústria e consumo doméstico.

A água de consumo não deve ter cor, nem sabor e cheiro desagradáveis, não deve ser turva, nem possuir microrganismos. No que diz respeito aos teores em substâncias dissolvidas existem normas que recomendam os valores máximos admissíveis em função do destino da água (uso doméstico, industrial ou agrícola).

A qualidade da água para consumo humano tem de estar de acordo com o Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto, que mantêm os aspectos fundamentais do anterior diploma o Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto, estabelecendo normas, critérios e objectivos de

qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus usos. Neste Decreto-Lei são definidos requisitos para várias utilizações, tais como:

- Águas para **consumo humano**
 - (A1) Águas doces superficiais
 - (A2) Águas subterrâneas
 - (A3) Águas de abastecimento
- Águas para **suporte da vida aquícola**
- Águas **balneares**
- Águas de **rega**

Em termos legais para se proceder à verificação da qualidade da água é necessário:

(1) Classificação nas categorias A1, A2 e A3 de acordo com a composição físico-química (Tabela 5.2).

(2) Definição dos métodos analíticos.

(3) Indicação da frequência mínima de amostragem e análise por grupos de parâmetros / população a servir.

(4) Definição dos parâmetros a determinar:

- Organolépticos (cor, turvação, cheiro e sabor)
- Físico-químicos (temperatura, pH, condutividade, cloretos, sulfatos, Ca, Mg, Na, K, Al. Dureza total, sólidos dissolvidos totais, oxigénio dissolvido)
- Substâncias indesejáveis (p. ex: nitratos, nitritos, Fe, Mn, Cu, Zn, P)
- Substâncias tóxicas (p. ex: Cr, Hg, Ni, Pb)
- Parâmetros microbiológicos (p. ex: coliformes totais e fecais)
- Radiológicos

(5) A concentração de cada parâmetro deve ser inferior a um **Valor Máximo Recomendável** (VMR); ou seja o valor de norma de qualidade que, de preferência, deve ser respeitado ou não excedido e tem de ser obrigatoriamente inferior a um **Valor Máximo Admissível** (VMA) que é um valor de norma de qualidade que não deverá ser ultrapassado.

São ainda definidos no Decreto-Lei as seguintes categorias:

- Águas **minerais naturais**
- Águas de **nascentes**
- Águas utilizadas na **recarga de lençóis freáticos**
- Águas para **usos específicos**
- Águas para **uso industrial**
- Águas para **fins terapêuticos, piscinas e outros recintos aquáticos**
- Águas de **bacias naturais ou artificiais para a aquicultura**

Os tipos de tratamento para cada classe segundo o Decreto-Lei nº236/98 são:

Classe A1 – Tratamento físico e desinfecção

Classe A2 – Tratamento físico e químico e desinfecção

Classe A3 – Tratamento físico, químico de afinação e desinfecção

Parâmetros	Expressão dos resultados	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
pH,25°C	Escala de Sorensen	6,5-8,5	-	5,5-9,0	-	5,5-9,0	-
Cor (após filtração simples)	mg/l ,escala Pt-Co	10	(0)20	50	(0)100	50	(0)200
Sólidos suspensos totais	mg/l	25	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	22	(0)25	22	(0)25	22	(0)25
Condutividade	µS/cm,20°C	1000	-	1000	-	1000	-
Cheiro	Factor de diluição a 25°C	3	-	10	-	20	-
Nitratos(*)	mg/l NO ₃	25	(0)50	-	(0)50	-	(0)50
Floretos(1)	mg/l F	0,7-1,0	1,5	0,7-1,7	-	0,7-1,7	-
Cloro orgânico total							
estraível	mg/l Cl	-	-	-	-	-	-
Ferro dissolvido (*)	mg/l Fe	0,1	0,3	1,0	2,0	1,0	-
Manganês	mg/l Mn	0,05	-	0,10	-	1,00	-
Cobre	mg/l Cu	0,02	(0)0,05	0,05	-	1,00	-
Zinco	mg/l Zn	0,5	3,0	1,0	5,0	1,0	5,0
Boro	mg/l B	1,0	-	1,0	-	1,0	-
Berílio	mg/l Be	-	-	-	-	-	-
Cobalto	mg/l Co	-	-	-	-	-	-
Níquel	mg/l Ni	-	-	-	-	-	-
Vanádio	mg/l V	-	-	-	-	-	-
Arsénio	mg/l As	0,01	0,05	-	0,05	0,05	0,10
Cádmio	mg/l Cd	0,001	0,005	0,001	0,005	0,001	0,005
Crómio total	mg/l Cr	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Chumbo	mg/l Pb	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Selénio	mg/l Se	-	0,01	-	0,01	-	0,01
Mercurio	mg/l Hg	0,0005	0,0010	0,0005	0,0010	0,0005	0,0010
Bário	mg/l Ba	-	0,1	-	1,0	-	1,0
Cianetos	mg/l Cn	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Sulfatos	mg/l So ₄	150	250	150	(0)250	150	(0)250
Cloretos	mg/l Cl	200	-	200	-	200	-
Substâncias tensoactivas							
(que reagem com o azul-de-metileno)	mg/l, sulfato de lauril e sódio	0,2	-	0,2	-	0,5	-
Fosfatos(*) (2)	mg/l P ₂ O ₅	0,4	-	0,7	-	0,7	-
Fenóis	mg/l C ₆ H ₅ OH	-	0,001	0,001	0,005	0,010	0,100
Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados	mg/l	-	0,05	-	0,20	0,50	1,00
Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares	µ/l	-	0,2	-	0,2	-	1,0
Pesticidas totais (paratião, hexaclorociclo-hexano, dieldrina e outros)	µ/l	-	1,0	-	2,5	-	5,0
Carência química de oxigénio (CQO) (*)	mg/l	-	-	-	-	30	-
Oxigénio dissolvido (*) (3)	% saturação de O ₂	70	-	50	-	30	-
Carência bioquímica de oxigénio a (CBO ₅ , 20°C) (*)	mg/l O ₂	3	-	5	-	7	-
Azoto Kjeldahl (excluindo o azoto de NO ₂ e NO ₃)	mg/l N	1	-	2	-	3	-
Azoto amoniacal	mg/l NH ₄	0,05	-	1,00	1,5	2,00	(0)4,00
Substâncias extraíveis com clorofórmio	mg/l	0,1	-	0,2	-	0,5	-
Carbono orgânico total (COT)	mg/l C	-	-	-	-	-	-
Carbono orgânico residual após floculação e filtração através de membrana (5µm)	mg/l C	-	-	-	-	-	-
Coliformes totais	/100ml	50	-	5000	-	50000	-
Coliformes fecais	/100ml	20	-	2000	-	20000	-
Estreptococos fecais	/100ml	20	-	1000	-	10000	-
Salmonelas	/100ml	Ausência em 5000 ml	-	Ausência em 1000 ml	-	-	-

Tabela 5 2 – Parâmetros físico - químicos relativos à qualidade da água (adaptado do Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto).

(0) Os limites podem ser excedidos em caso de condições geográficas ou meteorológicas excepcionais.

(*) Os limites podem ser excedidos para os parâmetros marcados com * em lagos de pouca profundidade e baixa taxa de renovação.

(1) Os valores indicados constituem os limites inferiores e superiores das concentrações, determinados em função da média anual das temperaturas máximas diárias.

(2) Este parâmetro é incluído para satisfazer as exigências de certos meios.

(3) Refere-se a um valor VMR.

5.2 – Hidroquímica Estudada – Componentes em análise e sua proveniência

Segundo a definição das Nações Unidas (UN, 2005), a qualidade da água refere-se às “propriedades físicas, químicas, biológicas e organolépticas (relacionadas com o sabor) da água”, sendo a qualidade química de uma água, segundo Fetter (1994), determinada pela substâncias que tem dissolvidos (gases e solutos) e também pela matéria que tem em suspensão ou a flutuar.

O facto de uma determinada água ser considerada como adequada para uma dada utilização está dependente das suas características físicas, químicas, microbiológicas e radiológicas preencherem os requisitos definidos por normas e critérios estabelecidos nacional e internacionalmente. Tais requisitos variam de país para país, sendo afectados por factores como o clima, a situação económica do país, a disponibilidade hídrica, etc.

É importante lembrar que os limites definidos estão também dependentes do avanço do conhecimento científico e tecnológico (novos limites são estabelecidos ou os anteriores modificados) e podem acrescentar-se outros parâmetros e os seus limites. Em Portugal é o Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto, que correspondem à legislação base em vigor que regula a qualidade da água para os diferentes tipos de utilização.

Uma água subterrânea natural pode apresentar, sem qualquer influência antrópica, valores fora dos intervalos definidos nas normas de qualidade da água. Nestes casos, segundo Matthess (1982), a poluição é definida pelos valores que ultrapassam as variações naturais dos constituintes em consideração. Coloca-se então a questão de saber qual a composição química inicial das águas, o seu “ruído de fundo”, para se poder então avaliar os desvios relativamente a estes valores “base”. Segundo Castany (1982), nas regiões sujeitas a actividades agrícolas há vários séculos, como é o caso da área em estudo, ou com décadas de desenvolvimento industrial, é difícil avaliar o “ruído” de fundo natural.

O mesmo autor refere que a capacidade poluente duma substância é determinada por dois factores principais: a) a quantidade introduzida no meio receptor, determinada pela concentração na água, e pelo volume de água em movimento, que é o veículo de transporte; e b) a frequência dos aportes, onde a repetição aumenta os riscos devidos ao facto dos sedimentos e dos seres vivos terem efeito cumulativo.

Os sistemas aquíferos mais vulneráveis são os sistemas livres, com o nível freático pouco profundo, em sedimentos arenosos e com elevada recarga hídrica (Bauld, 1994). Também os aquíferos carsificados podem também ser extremamente vulneráveis.

No entanto, é importante referir que a contaminação de uma água subterrânea não é sempre um processo irreversível, existindo mecanismos naturais de atenuação dos contaminantes como sejam; a diluição, a dispersão, a filtração mecânica, a volatilização, a actividade biológica, a troca iónica e a adsorção na superfície das partículas de solos, as reacções químicas, e o decaimento radioactivo (Fetter, 1994).

Para além destes processos naturais, o homem pode também actuar na recuperação da água; (Fetter.1994) refere que nas águas subterrâneas os métodos de recuperação são dispendiosos e demorados, sendo no geral necessário remover ou isolar a origem da contaminação e/ou proceder à extracção e tratamento das águas contaminadas.

Contudo, é importante considerar o problema do desfasamento entre o momento em que se deixa de poluir e o tempo em que nas águas se regista o abaixamento dos valores encontrados, especialmente nas águas subterrâneas.

5.2.1 – Parâmetros Organolépticos

5.2.1.1 – Cor

A cor da água é devida a substâncias em solução, e está relacionada com a capacidade de absorção de radiações do espectro visível e pode ser medida com um padrão de cor. Por exemplo, uma cor amarelada pode indicar a presença de pequena quantidade de ácidos orgânicos. Rica em ferro é arroxeadada, quando pura é azulada. A formação de sulfuretos metálicos torna-a cinzenta ou preta (água efluente). É necessário ter em muita consideração este parâmetro em algumas indústrias como é o caso da têxtil e da fotográfica.

A cor é influenciada pela turvação, pelo que as partículas em suspensão devem ser eliminadas antes dessa medição. A cor da água é removida através de processos como a coagulação e a filtração.

A parte inferior (final) de um rio tem índice de cor elevado.

5.2.1.2 – Turvação

A turbidez deve-se a substâncias em suspensão ou coloidais. As medidas são feitas baseando-se na intensidade luminosa que atravessa a água. É um fenómeno óptico originado por absorção e dispersão da luz nas partículas suspensas na água. A turvação pode exprimir-se em graus de sílica.

A parte superior (inicial) de um rio tem turvação elevada.

5.2.1.3 – Sabor e Cheiro

São dois parâmetros subjectivos. A determinação numérica do limiar de percepção do cheiro baseia-se na diluição sucessiva da água até que o odor deixe de ser perceptível.

A presença de fenóis clorados está frequentemente associada com o sabor e o odor desagradáveis da água tratada. Essas substâncias têm baixos valores de limiar de percepção gustativa e odorífera. O sabor e o cheiro surgem naturalmente, particularmente em fontes de água superficiais durante o Verão. Os compostos orgânicos que causam cheiro e sabor são removidos pelo tratamento de água (carbono activado ou ozono).

O odor pode ser causado quer pelas bactérias ou por substâncias químicas como os fenóis.

Águas com teor em cloretos superior a 300 ppm são salgadas. Águas com elevado teor de dióxido de carbono são picantes. Águas com elevado teor de cloreto de magnésio são amargas e doces.

5.2.2 – Parâmetros físico-químicos

Em termos gerais, o tipo e quantidade de espécies dissolvidas na água natural é fortemente influenciada pela mineralogia, verificando-se que num ambiente não poluído a qualidade da água, superficial ou subterrânea, pode ser correlacionada com os minerais presentes no

substrato rochoso ou no aquífero (Raymahashay, 1996). O carácter químico da água subterrânea é adquirido primariamente através das reacções químicas entre a água e os minerais que estão em contacto com ela. Assim, depende da composição dos minerais e da textura das rochas sub-superficiais, da solubilidade na água das fases mineralógico-químicas que constituem as rochas, da temperatura e pressão da água, do tempo de contacto da água com as rochas e sedimentos e de outros parâmetros como o pH, oxigénio dissolvido, presença de matéria orgânica, etc. (Kent & Spycher, 1994).

Os sólidos dissolvidos na água subterrânea fazem parte do ciclo geoquímico que tem início nos minerais das rochas ígneas, segue por processos de alteração, formação de rochas sedimentares e a evolução das águas terrestres. O factor importante neste ciclo é a mobilidade geoquímica dos elementos num dado ambiente geoquímico (rocha, hidrosfera e atmosfera). A mobilidade de um elemento na hidrosfera é determinada pela solubilidade dos seus vários compostos, pela tendência dos seus iões para se depositarem nas rochas por processo de adsorção ou troca iónica e pelo grau com que o elemento se liga na biosfera, sendo que o comportamento geoquímico diferencial dos elementos se reflecte na diferença de composição média que as rochas sedimentares e a água do mar apresentam, quando comparado com a composição inicial das rochas ígneas (Matthess, 1982).

Com excepção do cloreto, os elementos maioritários em solução (catiões e aniões) são normalmente, aqueles que estão presentes em concentrações moderadas nas rochas hospedeiras típicas e que formam minerais secundários relativamente solúveis (carbonatos e sulfatos) (Deutsch, 1997).

Em geral, a água subterrânea tem uma mineralização só um pouco superior à da água de chuva ou de rio, um pouco mais bicarbonatada e um pouco mais dura, ou algo mais sódica se os terrenos são de origem granítica (Custodio & Llamas, 1983). Contudo, é óbvio que a relação entre o tipo de água e a litologia da zona é difícil de efectuar numa água superficial ou subterrânea onde a carga antropogénica é significativa (Raymahashay, 1996); por exemplo, é natural que o total de sólidos dissolvidos numa água superficial aumente devido ao despejo de águas residuais, ao escoamento urbano ou à erosão aumentada por mudanças no uso da terra na bacia de drenagem (Fetter, 1994).

As espécies dissolvidas na água são genericamente divididos em: a) constituintes maiores – presentes em concentrações maiores que 1 mg/l nas condições naturais típicas, e

correspondendo ao Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , $(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$, SO_4^{2-} , Cl^- e NO_3^- e b) constituintes minoritários e em traço – elementos e compostos dissolvidos na água em níveis inferiores a 1mg/l, em que os mais comuns são: Fe, Mn, Al, Ba, Cd, Cr, Pb, Zn, Li, W, Sn, Sb, Ni, Sr, As, Se, P, F, Br, I, B, NH_4^+ , Co, Cu e Hg. A concentração dos iões maioritários na água subterrânea e a concentração das outras espécies dissolvidas são função da disponibilidade do constituinte no sistema e da solubilidade dos sólidos que podem limitar a sua concentração em solução.

Passa-se a fazer uma apresentação dos parâmetros químicos, sendo apenas referidos os mais importantes.

5.2.2.1 – Temperatura

A temperatura da água, apesar de não ser uma característica química do sistema aquoso, é importante porque muitas das propriedades geoquímicas da água são sensíveis ao seu valor (Deutsch, 1997). Por exemplo, a temperatura da água afecta a solubilidade das espécies químicas e por isso a sua mobilização a partir das fases sólidas (Siegel, 2002).

A temperatura da água subterrânea resulta de trocas de calor na superfície da Terra sob o controlo de radiações recebidas ou emitidas, condução e convecção do calor, evaporação e processos químicos e termonucleares nas rochas (Matthess, 1982). Contudo, é importante ter em conta a temperatura da água de recarga de aquífero (Custódio & Llamas, 1983). Durante o processo de recarga dos aquíferos, a água que se infiltra no terreno apresenta temperaturas muito variáveis, verificando-se que quanto maior for a quantidade de água infiltrada e mais rapidamente essa água atingir a zona saturada, menor será a variação da temperatura da água subterrânea existente. Este efeito é importante no caso de aquíferos muito permeáveis, especialmente em rochas fissuradas ou carsificadas e com circulação regular de grandes quantidades de água de rio filtrada pelo leito e de recargas artificiais da água subterrânea (Matthess, 1982). No caso de recarga dum aquífero com água dum rio os efeitos podem demorar muito a desaparecer, em especial nos níveis mais permeáveis (Custódio & Llamas, 1983).

Quando o tempo de residência da água infiltrada na zona não saturada é longo, a sua temperatura pode estar próxima do equilíbrio com a temperatura da rocha circundante, especialmente quando a quantidade de água a circular é reduzida. Em locais onde a água

está a percolar através de rocha não consolidada, por exemplo areia fina, a superfície de contacto água/rocha é muito extensa e a taxa de troca de calor é fortemente acelerada. A estratificação de temperatura dentro dos aquíferos e as zonas com temperaturas diferentes entre aquíferos adjacentes, vertical ou horizontalmente, podem ocorrer como resultado das baixas condutividades térmicas da água e das fracas taxas de mistura de águas que ocorrem nos escoamentos de baixas velocidades (Matthess, 1982).

A temperatura da água subterrânea é menos sensível às variações exteriores de temperatura que as águas superficiais (Rodier, 1984). Em geral, as águas subterrâneas têm uma temperatura muito pouco variável (Custódio & Llamas, 1983 e Hem, 1985) e tanto mais constante quanto maior for a profundidade do aquífero; corresponde à temperatura média anual das temperaturas atmosféricas do lugar, incrementada pelo produto da profundidade pelo gradiente geotérmico. Assim, excepto em casos pouco usuais, como no caso das águas termais, a temperatura da água subterrânea é geralmente igual ou um pouco superior à temperatura média anual verificada na zona (Custódio & Llamas, 1983), sendo de salientar que durante os períodos de calor é inferior às temperaturas do ar (Hem, 1985).

5.2.2.2 – pH

O pH de uma água natural é um índice útil do estado de equilíbrio das reacções em que a água participa. A reacção do CO_2 dissolvido com a água é uma das mais importantes no estabelecimento do pH nos sistemas de água naturais, mas o pH da água natural não é sempre fixado pelo equilíbrio do carbonato.

O pH determina a solubilidade de muitos elementos na água. Apenas alguns iões, tais como Na^+ , Ca^{2+} , NO_3^- e Cl^- , podem estar presentes em solução nas águas subterrâneas normais em todo o intervalo de valores de pH que ocorrem naturalmente nas águas. A maioria dos iões metálicos são solúveis em águas subterrâneas ácidas, na forma catiónica, mas precipitam como hidróxidos ou sais básicos quando o pH aumenta⁵, apesar de para alguns elementos existir uma maior tendência para se formarem colóides. Por outro lado, as substâncias dissolvidas alteram geralmente o pH da solução, uma vez que alguns iões se

⁵ - Os iões Fe^{3+} precipitam acima de pH 3; os iões de Fe^{2+} começam a precipitar como hidróxido a pH 5.1, mas não chegam a estar totalmente precipitados mesmo com solução neutra (pH 7); o alumínio inicia a sua precipitação, como hidróxido a pH 5 e atinge um máximo com pH 6-7, aumentando a sua solubilidade com pH alcalino; os iões Mn^{2+} e Mg^{2+} tendem a precipitar, respectivamente, acima de pH 8 e de pH 10,5 (Matthess, 1982).

combinam com o OH^- e o H^+ da água e perturbam assim o equilíbrio químico (Matthess, 1982).

O intervalo de valores de pH encontrado nas águas naturais é geralmente 4 a 9 (Clesceri et al., 1998). Para a maioria das águas subterrâneas os valores de pH encontram-se no intervalo 6,5 a 8 e mais raramente entre 5,5 e 8,5; em casos excepcionais podem variar entre 3 e 11 (Custódio & Llamas, 1983). Segundo Hem (1985), aparecem referidos na literatura valores de pH superiores a 11,0 em algumas nascentes e inferiores a 2,0 em algumas nascentes termais.

Em geral, a água branda de zonas com rochas silicatadas tem um pH menor que a água dura de zonas com rochas ricas em carbonato de cálcio (Matthess, 1982).

Segundo este autor, valores de pH muito elevados ($> 8,5$) estão geralmente associados com águas que têm uma elevada concentração de carbonato de sódio; valores de pH relativamente elevados são encontrados em águas ricas em bicarbonato; valores de pH relativamente baixos podem ser atribuídos a pequenas quantidades de ácido sulfúrico resultante da oxidação de sulfuretos metálicos ou a ácidos orgânicos produzidos por humificação e valores muito baixos de pH ($< 4,0$) ocorrem em águas ácidas de minas (os ácidos livres resultam da oxidação dos sulfuretos) ou em águas termais, que contém H_2S , HCl e outros constituintes voláteis de origem vulcânica.

5.2.2.3 – Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica de uma água está relacionada com vários factores, tais como a concentração de iões dissolvidos, as suas cargas eléctricas, o seu estado de dissociação, mobilidade, etc. Também se verifica que a condutividade eléctrica aumenta com a temperatura sendo por isso necessário mencionar a temperatura de referência quando são referidos valores de condutividade eléctrica (Custódio & Llamas, 1983).

O aumento da condutividade eléctrica com a temperatura difere de acordo com o tipo de sal e a sua concentração mas, para soluções diluídas da maioria dos iões, um aumento de 1°C na temperatura da água implica um aumento da condutividade eléctrica em cerca de 2% (Custódio & Llamas, 1983 e Hem, 1985).

Em águas naturais, as variações de composição existentes fazem com que não exista uma relação estreita entre o valor da condutividade eléctrica e o resíduo seco (Custódio & Llamas, 1983). Este facto também resulta de só as espécies ionizadas contribuírem para a condutividade eléctrica, o mesmo não acontecendo com as espécies não ionizadas de ácidos ou bases fracas assim como os materiais orgânicos solúveis sem carga que fazem parte dos materiais dissolvidos nas águas (Sawyer *et al.*, 1994) e que entram no valor total de sólidos dissolvidos.

Apesar de se verificar esta fraca correlação entre a condutividade eléctrica e os sólidos dissolvidos, na maioria das águas naturais, é frequente serem feitas tentativas de aproximação do valor dos sólidos dissolvidos a partir da condutividade eléctrica medida nas águas como, por exemplo, as referidas em Matthess (1992) e Sawyer *et al.* (1994) com a utilização de factores de correlação.

Segundo Custodio & Llamas (1983), para uma temperatura de 18° C eléctrica das águas doces⁶ varia entre 100 a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ⁷, a água do mar apresenta um valor de cerca de 45000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e as salmouras podem atingir mais de 100000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Considerando uma dada concentração total de componentes dissolvidos, geralmente águas com carbonato e sulfato de cálcio têm valores mais baixos de condutividade eléctrica do que águas com cloreto de sódio (Matthess, 1982).

5.2.2.4 – Sólidos Dissolvidos

O total de sólidos dissolvidos abrange substâncias dissolvidas e não dissolvidas, mas não o material em suspensão, colóides ou gases dissolvidos. Geralmente este valor determina-se por evaporação de uma amostra até á secura com posteriores secagem do resíduo a 180°C durante 1 a 2 horas (Matthess, 1982).

O valor dos sólidos dissolvidos determinados depende da temperatura a que se procedeu à secagem da amostra mas, segundo Custodio & Llamas (1983), em geral os valores obtidos a 105-110°C e a 180°C são muito similares.

⁶- Matthess (1982) e Hitchon *et al.* (1999) referem, respectivamente, um valor mínimo de 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para as águas doces subterrâneas e Hem (1985) refere para as águas superficiais e subterrâneas um valor mínimo de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$; nenhum dos autores menciona a temperatura de referência.

⁷ - $\mu\text{mhos}/\text{cm} = \mu\text{S}/\text{cm}$

A perda de CO₂ durante a precipitação dos carbonatos é geralmente tida em consideração adicionando metade de valor de HCO₃⁻ ao resíduo da evaporação para se obter um valor dos sólidos dissolvidos totais (Matthess, 1982).

Os sólidos dissolvidos totais são uma medida básica da qualidade da água; de acordo com o valor que apresenta para este parâmetro pode ser classificada em: água doce (0-1000 mg/l), salobra (1000-10000 mg/l), salina (10000 – 100000 mg/l) e salmoura (> 100000 mg/l) (Freeze & Cherry, 1979; Fetter, 1994).

A qualidade natural das águas subterrâneas varia substancialmente consoante o local considerado, podendo apresentar valores de sólidos dissolvidos totais inferiores a 100 mg/l, em águas doces, a mais de 100000 mg/l, em algumas salmouras encontradas em aquíferos profundos (Fetter, 1994).

5.2.2.5 – Dureza Total

A dureza total resulta da soma dos iões alcalino-terrosos Ca²⁺ e Mg²⁺, contribuindo também, embora com menor peso devido à sua baixa solubilidade, os iões Fe²⁺ e Al²⁺.

Quando ocorre a suspeita de “Pedras na Bexiga” deve-se evitar a ingestão de água com elevado conteúdo de cálcio e magnésio na água (Zuane, 1990). No quadro seguinte observa-se a relação entre os catiões metálicos polivalentes e a sua correlação com a dureza (Tabela 5.3).

Catiões	Correlação com a dureza (%)
Mg ²⁺	94.49
Ca ²⁺	68.43
Fe ²⁺	10.09
Al ²⁺	2.04

Tabela 5.3 – Correlação dos iões com a dureza da água.

O cálcio e o magnésio das águas duras contribuem para a incrustação que se produz quando a água sofre mudanças de temperatura. Verificando-se que em algumas fontes, os caudais reduzidos que apresentam nas suas bicas se devem, para além dos factores naturais, a incrustações nas condutas que impedem a passagem da água.

5.2.2.6 – Alcalinidade

Alcalinidade representa a capacidade que um sistema aquoso tem para neutralizar ácidos sem perturbar de forma extrema as actividades biológicas que nele decorrem (efeito tampão natural da água). Este parâmetro, normalmente usado para descrever a qualidade da água, é um factor de capacidade e não de intensidade (como o pH), daí que uma solução com pH neutro possa ter alcalinidade considerável. A alcalinidade é devida principalmente aos carbonatos e bicarbonatos e, secundariamente, aos íons hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amónia. A alcalinidade total é a soma da alcalinidade produzida por todos esses íons.

Este parâmetro mede-se pela presença do ião bicarbonato, dependendo do valor de pH e indica a capacidade para neutralizar um ácido, sendo aceitáveis valores entre 5 a 125 mg/l.

No decorrer do transporte da amostra de água para o laboratório pode ocorrer libertação de CO₂, pelo que a determinação da alcalinidade em laboratório poderá estar sujeita a alguns erros por defeito.

A concentração em HCO₃⁻ nas águas subterrâneas varia normalmente entre os 122 mg/l e 366 mg/l, e em alguns casos entre 61 mg/l e 610 mg/l (Custodio & Llamas 1983). A ocorrência de concentrações abaixo dos valores habituais nas amostras recolhidas, poderá dever-se a condições geográficas excepcionais, ou à perda de algum CO₂ durante o transporte da amostra para o laboratório.

5.2.2.7 – Cloreto

Ião estável em relação às reacções químicas que influenciam grandemente o comportamento de muitos dos outros elementos comuns (Feth, 1981). Sob condições naturais, a sua principal actividade de troca é entre o NaCl sólido e o ião cloreto. Apresenta assim uma extrema mobilidade (especialmente na hidrosfera) parcialmente devido à elevada solubilidade dos seus iões (Feth, 1981), sendo um anião facilmente lixiviado do solo (Matthess, 1982).

O cloreto nas águas procede de: lixiviação de terrenos de origem marinha⁸, água da chuva e sua concentração no terreno, mistura com águas marinhas em regiões costeiras⁹, ataque a

⁸ - Segundo Hem (1985), quando rochas porosas são submersas pelo mar após a sua formação, ficam impregnadas com sais solúveis, com o cloreto a tomar papel importante.

⁹ - Cunha salina nas águas do rio junto à foz e intrusão salina nos aquíferos por bombagem excessiva (Saywer *et al.* 1994).

rochas (fonte geralmente reduzida excepto muito localmente por ataque a rochas evaporíticas como o sal gema e por ataque a certos esgotos urbanos e industriais¹⁰ e, mais raramente, pode proceder de gases e líquidos associados a emanções vulcânicas. Outras fontes de cloreto nas águas naturais apontadas por outros autores são: aerossóis com origem no mar, resíduos domésticos e industriais (Feth, 1981), evaporação da água de irrigação com concentração dos sais dissolvidos no solo e consequentemente aumento da salinidade da água de drenagem (Saywer et al. 1994), fertilizantes agrícolas e degelo de estradas com sais de cloreto (Matthess, 1982).

Os cloretos ocorrem em todas as águas naturais em concentrações muito variadas, normalmente o seu valor aumenta quando o conteúdo mineral da água aumenta (Saywer *et al.*, 1994). No entanto, a sua concentração nas águas naturais é maioritariamente baixa (Hem, 1985), não chegando quase nunca a apresentar-se saturado nas águas (Custodio & Llamas, 1983).

Nas águas doces têm valores entre 10 e 250 mg/l (ppm), não sendo, no entanto, raro encontrar águas com concentrações até vários milhares de ppm (Custodio & Llamas, 1983).

Em muitos cursos de água superficiais as concentrações de cloreto são inferiores às do sulfato e bicarbonato, mas podem ocorrer excepções, quando estes recebem águas com elevado valor de cloretos, resíduos industriais ou são afectadas pelas marés oceânicas (Hem, 1985). Um aumento das concentrações de cloreto com o tempo pode indicar: a) a ocorrência de intrusão salina nos aquíferos ou b) a contaminação da água superficial ou subterrânea por resíduos domésticos ou industriais (Feth, 1981).

As águas subterrâneas de baixa profundidade têm concentrações de cloreto geralmente inferiores a 1000mg/l, sendo o máximo para as águas subterrâneas superiores a 180000 mg/l (Hitchon et al., 1999).

Em rochas ígneas e sedimentares pobres em cloreto, a sua concentração na água geralmente não ultrapassa os 30 mg/l, indicando valores mais elevados a ocorrência de mistura com águas mineralizadas ou poluição humana; em zonas com rochas ricas em cloreto, particularmente na vizinhança de depósitos de sal, ou na região de impregnações

¹⁰ - Por exemplo: indústrias de processamento de alimentos (Feth, 1981), minas de potassa, armazenamentos de produtos petrolíferos e indústrias químicas (Rodier, 1984).

salinas podem ocorrer concentrações de Cl^- da ordem de centenas a milhares de mg/l (Matthess, 1982).

5.2.2.8 – Sulfato

Na maioria das águas naturais próximas da superfície terrestre, o enxofre encontra-se presente como SO_4^{2-} dissolvido (Hitchon *et al.*, 1999). Nas águas com baixa concentração de sulfato geralmente existe pouco ou nenhum sulfureto devido à redução do sulfato pois o H_2S e o HS^- dissolvidos formam sulfuretos insolúveis com metais pesados e precipitam (Hem, 1970 in Matthess, 1982).

Custodio & Llamas (1983) referem as seguintes fontes para o sulfato nas águas: lixiviação de terrenos formados em condições de grande aridez ou em ambiente submarino, oxidação de sulfuretos de rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares, dissolução de gesso, anidrite ou terrenos gipsíferos, concentração da água da chuva no solo¹¹, actividades urbanas, industriais e agrícolas¹². Outras fontes de sulfato nas águas naturais apontadas por outros autores são: a oxidação de sulfuretos orgânicos em processos naturais no solo ou no tratamento de lixos orgânicos (Hem, 1985) e localmente as chuvas ácidas e a mistura de água doce com água salgada (Appelo & Postma, 1996).

Segundo Custodio & Llamas (1983), as águas doces têm valores de sulfato entre 2 e 150 mg/l., águas salgadas atingem 5000 ppm de sulfato quando existe Ca e, em salmouras atinge 200000 ppm. Nas águas subterrâneas podem atingir valores de sulfato superiores a 55000 mg/l (Hitchon *et al.* 1999).

A concentração de sulfato nas águas subterrâneas associadas a rochas ígneas e a rochas arenosas e areno cascalhentas, desde as não consolidadas até às consolidadas, é geralmente muito baixa (<30mg/l); concentrações locais de minerais de sulfato e sulfureto levam a um aumento do valor de SO_4^{2-} na água subterrânea (Matthess, 1982). Rodier (1984) refere valores até 300mg/l nas zonas contendo gesso ou quando o tempo de contacto da água com

¹¹ - A precipitação pode contribuir com sulfato proveniente de: aerossóis do mar, poeiras continentais, da oxidação do H_2S que chega à atmosfera a partir de zonas costeiras pantanosas, de emanações vulcânicas e da poluição antrópica (Matthess, 1982).

¹² - Esgotos e resíduos sólidos em lixeiras e aterros sanitários, fertilizantes (Matthess, 1982), águas de drenagem de minas de carvão abandonadas ou de minas (Sawyer e tal., 1994). A queima de combustíveis e a fundição de metais são considerados por Hem (1985) como fonte importante de sulfato nas águas naturais.

a rocha é elevado.

Valores extremamente elevados são encontrados em águas sulfatadas sódicas e magnesianas e na zona de oxidação de depósitos de sulfuretos; em águas de minas podem ocorrer valores da ordem de milhares e dezenas de milhares de mg/l de SO_4^{2-} (Matthess, 1982).

Concentrações muito baixas ou mesmo nulas de SO_4^{2-} são típicas de águas subterrâneas onde ocorre redução microbiológica do sulfato (Matthess, 1982) uma vez que a redução de sulfatos é em geral um processo muito mais rápido que a introdução de SO_4^{2-} por dissolução de sais do terreno (Custodio & Llamas, 1983). Esta é na maioria dos casos, segundo Matthess (1982), a causa dos valores reduzidos deste ião encontrado na água. As águas subterrâneas que sofrem redução de sulfatos têm frequentemente um odor sulfídrico (Custodio & Llamas, 1983), mas se houver excesso de óxido de ferro nos sedimentos o H_2S resultante da redução do sulfato pode ser consumido integralmente, não estando por isso necessariamente presente sempre que esta reacção acontece (Appelo & Postma, 1996).

5.2.2.9 – Bicarbonato

Tem um papel geoquímico importante na água natural, uma vez que sendo uma das espécies dissolvidas de CO_2 , é um participante importante nas reacções que controlam o pH das águas (Hem, 1985).

O bicarbonato é geralmente determinado pela titulação da alcalinidade da água; a definição de alcalinidade inclui todas as espécies dissolvidas na água que podem potencialmente neutralizar os ácidos (Deutsch, 1997). Contudo, Hem (1985), refere que em quase todas as águas naturais a alcalinidade é produzida pelas espécies de CO_2 dissolvidas, bicarbonato e carbonato; os contribuintes não carbonatados mais importantes para a alcalinidade incluem: o hidróxido, o silicato, o borato, os compostos orgânicos (especialmente acetato e propionato) e mais raramente NH_4OH ou HS^- .

Geralmente o ião carbonato existe em menores quantidades que o bicarbonato, sendo considerado igual a zero quando o pH da água é inferior a 8,3 (Custodio & Llamas, 1983). Como as águas naturais raramente têm pH superior a 8,3, é raro encontrarmos quantidades importantes de ião carbonato (Custodio & Llamas, 1983). Assim, nestas condições toda a alcalinidade é atribuída ao bicarbonato.

Os iões bicarbonato e carbonato nas águas procedem da dissolução de CO_2 atmosférico ou do solo¹³, dissolução de calcários ou dolomias e hidrólise de silicatos (Custodio & Llamas, 1983).

Em alguns sistemas naturais podem ocorrer outras fontes locais maiores de CO_2 , para além da atmosfera e do solo, como sejam a redução de sulfato com medição biológica e o metamorfismo de rochas carbonatadas (Hem, 1985).

Segundo Freeze & Cherry (1979) o bicarbonato é invariavelmente o anião dominante nas áreas de recarga dos aquíferos, pois a calcite e a dolomite ocorrem em teores significativos em quase todas as bacias sedimentares e dissolvem-se rapidamente quando em contacto com água subterrânea rica em CO_2 . É também referido por Deutsch (1997) como o anião frequentemente dominante nas águas subterrâneas de pequena profundidade.

A maioria dos cursos de água superficiais contém menos de 200 mg/l de bicarbonato (Hem, 1985) sendo que na água subterrânea as suas concentrações frequentemente estão entre 50 a 400 mg/l (Matthess, 1982). Contudo, nas águas subterrâneas algumas concentrações elevadas não são incomuns, como sejam concentrações acima de 1000 mg/l em algumas águas com Ca e Mg baixo, especialmente onde processos de libertação de CO_2 (ex.: redução do sulfato) estão a ocorrer no aquífero (Hem, 1985); em muitos casos de águas subterrâneas em sequências sedimentares estratificadas os iões dominantes são o Na^+ e o HCO_3^- e as concentrações de bicarbonato podem atingir 2500 mg/l (Freeze & Cherry, 1979).

5.2.2.10 – Nitrato

Ocorre na água como aniões nitrato e nitrito, como catião amónia e em estados de oxidação intermédios como parte de solutos orgânicos. Outras formas, como cianetos, podem ocorrer em águas afectadas por descargas de lixos. As diferenças nas propriedades químicas entre estas espécies são grandes, sendo o comportamento geoquímico do azoto fortemente influenciado pela sua importância vital na nutrição animal e vegetal (Hem, 1985).

¹³ - Esta é considerada por Hem (1985) a principal fonte, sendo que o ar existente na zona do solo e na zona não saturada pode estar substancialmente enriquecido em CO_2 , geralmente devido à respiração das plantas e à oxidação da matéria orgânica; a produção de CO_2 no solo pelas plantas pode em alguns solos irrigados fornecer mais iões bicarbonato que a própria água de irrigação.

A espécie dominante de azoto na água subterrânea é o nitrato e depois, em menor quantidade, o ião amónio (NH_4^+) (Domenico & Schwartz, 1990).

Os sais de nitrato são muito solúveis e por isso dificilmente precipitáveis (Custodio & Llamas, 1983), sendo o nitrato facilmente lixiviado dos solos (Matthess, 1982 e O'Neill, 1993). Apesar de Matthess (1982) e Custodio & Llamas (1983) referirem, respectivamente, que o nitrato pode ser absorvido nos minerais de argila e no terreno (por efeito biológico, especialmente no solo vegetal), segundo O'Neill (1993) a capacidade de troca aniónica dos minerais de argila é limitada, sendo também geralmente baixa nos solos; assim, quando o azoto é convertido a nitrato pode ser rapidamente removido em solução. O resultado frequente desta lixiviação dos nitratos é a sua presença em concentrações relativamente elevadas na água subterrânea (Sawyer et al., 1994). Em água subterrânea fortemente oxidante o NO_3^- move-se conjuntamente com a água sem se transformar e com pequena ou nenhuma retardação, podendo migrar largas distâncias em relação às áreas de entrada; isto acontece frequentemente em águas subterrâneas de pequena profundidade em sedimentos altamente permeáveis ou em rochas fracturadas (Freeze & Cherry, 1979).

O nitrato pode ser um indicador de contaminação, sendo possível nestes casos a sua estratificação, dominando as concentrações mais elevadas na parte superior do aquífero livre (Custodio & Llamas, 1983).

Custodio & Llamas (1983) referem como fontes para o nitrato nas águas: os processos de nitrificação naturais (bactérias nitrificantes, por exemplo nas raízes das plantas leguminosas), a decomposição da matéria orgânica e a contaminação urbana, industrial e de explorações pecuárias¹⁴, os fertilizantes agrícolas¹⁵, a água da chuva (em pequenas porções) e, muito raramente, a lixiviação de certos minerais azotados emanações vulcânicas ou lixiviação de solos antigos. Stumm & Morgan (1996) referem que os fertilizantes são a fonte mais importante de nitrato no ambiente, considerando Appelo & Postma (1996) que a principal causa para o aumento da concentração de nitrato em águas subterrâneas pouco profundas é a vasta aplicação de fertilizantes químicos e estrumes na agricultura desde o

¹⁴ - Os animais de efectivos pecuários produzem teores consideráveis de lixos orgânicos azotados que tendem a concentrar-se em sítios onde muitos animais estão confinados (Hem, 1985). A conservação do azoto orgânico destes lixos em nitrato ocorre através de processos bioquímicos de amonificação (azoto orgânico \rightarrow amónio) e de nitrificação (NH_4^+ oxidado a NO_3^-) normalmente acima do nível freático, geralmente na zona do solo onde a matéria orgânica e o oxigénio são abundantes (Freeze & Cherry, 1979).

¹⁵ - Os estrumes e os adubos artificiais à base de nitratos, fosfatos e potássio produzem principalmente uma contaminação em nitratos (Custódio & Llamas, 1976).

início dos anos 60. O Nitrato geralmente ocorre em quantidades traço nas águas superficiais mas pode atingir níveis elevados em algumas águas subterrâneas (Clesceri e tal., 1998).

A composição média nos cursos de água é de 1,0 mg/l (Hitchon *et al.*, 1999). A concentração de nitrato nas águas subterrâneas está normalmente entre 0,1 e 10 mg/l mas em águas poluídas pode chegar a 200 mg/l, em alguns casos, a 1000 mg/l (Custodio e Llamas, 1983).

A concentração de nitratos na água do solo é sempre muito mais elevado do que na água subterrânea que lhe está por baixo (Matthess, 1982); nos aquíferos o seu aumento varia em razão inversa da profundidade (Rodier, 1984).

5.2.2.11 – Nitrito

O ião nitrito ocorre na água como estado de oxidação intermédio do azoto (Manahan, 1994 e Clesceri e tal., 1998), tanto da oxidação da amónia para nitrato como da redução de nitrato (Stumm & Morgan, 1996; Clesceri e tal., 1998).

As formas reduzidas ou orgânicas de azoto são convertidas pelas bactérias do solo em nitrito e nitrato (Hem, 1985) mas, sob condições anaeróbias, os nitritos conjuntamente com os nitratos sofrem um processo de redução, por acção de bactérias, a N_2 (gás), ocorrendo presumivelmente uma redução prévia de nitratos a nitritos e a posterior redução dos nitritos a N_2 , que se escapa para a atmosfera e também a alguma amónia (Sawyer et al., 1994).

As fontes de azoto reduzido na água natural são presumivelmente similares às fontes do nitrato (Hem, 1985). A aplicação de fertilizantes, a criação de gado e os lixos sólidos ou líquidos podem aumentar localmente o fornecimento de compostos de azoto solúveis (Matthess, 1982).

Segundo Hem (1985), o nitrito e as espécies orgânicas de azoto são instáveis em águas arejadas e são geralmente considerados como indicadores de poluição devida a esgotos ou lixos orgânicos. Stumm & Morgan (1996) referem que no ambiente os sistemas poluídos por nitritos são os sistemas aquáticos. Uma água que contenha nitritos é de considerar suspeita, sendo no entanto necessário efectuar outras análises como: nitratos, azoto amoniacal, matéria orgânica e exame bacteriológico, uma vez que por vezes são encontrados nitritos não associados à poluição, por exemplo em águas pobres em oxigénio em furos de grande profundidade (Rodier, 1984).

A concentração do nitrito em águas superficiais e subterrâneas é normalmente inferior a 0,1 mg/l, raramente existindo em quantidades superiores a 1mg/l, mesmo em efluentes de ETARS (Sawyer e tal., 1994).

5.2.2.12 – Sódio

O Na^+ tem a solubilidade muito elevada sendo muito difícil de precipitar. É retido por absorção nas superfícies dos minerais, especialmente dos minerais com elevada capacidade de troca catiónica como as argilas (Hem, 1985). Contudo, apresenta um grau de ligação limitado (Matthess, 1982), sendo esta interacção mais forte com iões divalentes (Hem, 1985). Por este motivo, segundo este último autor, os processos de troca catiónica nos sistemas de águas doces tendem a extrair iões divalentes da solução e a substituí-los por iões monovalentes.

Custodio & Llamas (1983) referem as seguintes fontes para o sódio nas águas: alteração de feldspatos, feldspatóides e outros silicatos, lixiviação de sedimentos de origem marinha e troca de bases com argilas da mesma origem, mistura com água do mar, localmente dissolução de sal-gema ou sulfato sódico natural (evaporitos), contaminação urbana e industrial, concentração da água da chuva e raramente de emanações e fenómenos relacionados com processos magmáticos.

O sódio é um elemento constante nas águas, apesar de as concentrações poderem ser extremamente variáveis (Rodier, 1984); é um dos catiões geralmente encontrados em maiores concentrações nas águas subterrâneas (Kent & Spycher, 1994). Hitchon *et al.* (1999) referem que na água subterrânea se podem atingir valores superiores a 130000mg/l.

Nas águas doces apresenta concentrações entre 1 e 150 mg/l, mas é frequente encontrarem-se águas com valores muito mais elevados, até vários milhares de ppm (Custodio & Llamas, 1983). A sua abundância média nos cursos de água é de cerca de 6,3 mg/l e nas águas subterrâneas é geralmente superior a 5mg/l (Clesceri e tal., 1998). Salmouras associadas a depósitos de evaporitos ou em bacias fechadas podem apresentar valores de mais de 100000 mg/l (Hem, 1985).

5.2.2.13 – Potássio

A ocorrência do potássio nas águas subterrâneas deve-se, em geral, a contaminações de origem agrícola. Este elemento não atinge no entanto, elevadas concentrações devido à sua baixa solubilidade. Segundo Custodio & Llamas, (1983) a concentração deste elemento nas águas doces, varia entre 0.5 mg/l e 8 mg/l.

5.2.2.14 – Cálcio

O cálcio presente na água pode resultar da dissolução dos calcários, calcários dolomíticos, feldspatos, e outros silicatos cálcicos. É um catião que pode ser muito solúvel, mas também pode precipitar facilmente como CaCO_3 , e portanto a sua estabilidade depende do pH da água e do equilíbrio CO_2 – HCO_3^- – CO_3^{2-} . Este elemento contribui para a dureza da água. A concentração de cálcio verificada na água da maioria das fontes e nascentes apresenta valores baixos (Figura 1.24), podendo variar entre 10 mg/l e 250 mg/l nas águas doces (Custodio & Llamas, 1983).

5.2.2.15 – Magnésio

Custodio & Llamas (1983) referem as seguintes fontes para o magnésio nas águas: dissolução de dolomias e calcários dolomíticos, ataque a silicatos magnesianos e ferro-magnesianos, lixiviação de rochas evaporíticas magnésicas como a carnalite (contribuição localizada), mistura com água do mar e a contaminação industrial e mineira. Reimann & Caritat (1998) referem ainda como possível fonte de magnésio no ambiente o uso de fertilizantes na agricultura, bem como poeiras sopradas pelo vento e aerossóis marítimos.

Quando a água contém uma quantidade de magnésio igual ou superior à do cálcio, podemos estar perante uma água antiga influenciada pelo mar ou em parte misturada com a água do mar. A presença deste elemento também pode estar relacionada com processos de lixiviação, pode ter também origem na rocha que constitui o aquífero. A presença de magnésio nas águas subterrâneas poderá dever-se a possíveis contaminações de origem mineral, doméstica ou industrial. Este elemento, em concentrações elevadas confere propriedades laxantes bem como um sabor amargo à água.

Metal alcalino terroso, só tem um único estado de oxidação com significado na química da água, o Mg^{2+} (Hem, 1985); apresenta uma elevada mobilidade no ambiente em todas as

condições de pH e Eh (Reimann & Caritat, 1998), sendo a maior parte dos seus sais muito solúveis na água (Rodier, 1984).

Ião fortemente absorvido por minerais de argila (Hem, 1985).

As águas doces apresentam concentrações de magnésio geralmente abaixo de 40 mg/l (Matthess, 1982). Concentrações mais elevadas ocorrem em rochas ricas em magnésio, a maioria das quais em águas com elevado teor de sais (Matthess, 1982).

No entanto, a abundância média do magnésio nos cursos de água é de cerca de 4 mg/l e nas águas subterrâneas é superior a 5 mg/l (Clesceri e tal., 1998), sendo o valor máximo na água subterrânea referido por Hitchon *et al.*, (1999) de cerca de 40000 mg/l.

As águas com origem em rochas carbonatadas podem ser ligeiramente básicas com predominância de iões bicarbonato, de cálcio e magnésio (Custodio e Llamas, 1976). O valor do Mg^{2+} na água doce é geralmente inferior ao do cálcio, muito provavelmente pela menor abundância geoquímica do magnésio no ambiente (Matthess, 1982).

5.2.2.16 – Sílica

Embora seja o segundo elemento mais abundante na crosta da terra não é um dos principais encontrados nas águas subterrâneas normais. Uma grande concentração de sílica pode indicar água proveniente de terrenos vulcânicos ou bacias sedimentares formadas a partir da erosão das rochas vulcânicas (concentrações SiO_2 em torno de 90 a 100 ppm).

A sílica presente na água provém da decomposição de silicatos de determinadas formações cristalinas ou cristalofílicas e impurezas do material carbonatado, podendo ser indicadora do tipo de terreno atravessado pela água subterrânea, assim como da temperatura do aquífero, uma vez que a solubilidade deste elemento aumenta com a temperatura. Segundo Custodio & Llamas (1983), a concentração média de SiO_2 nas águas naturais varia entre 1 e 40 mg/l.

5.2.2.17 – Alumínio

Na temperatura ambiente é sólido, sendo o elemento metálico mais abundante da crosta terrestre. Sua leveza, condutividade eléctrica, resistência à corrosão e baixo ponto de fusão lhe conferem uma multiplicidade de aplicações, especialmente nas soluções de engenharia

aeronáutica. Entretanto, mesmo com o baixo custo para a sua reciclagem, o que aumenta sua vida útil e a estabilidade do seu valor, a elevada quantidade de energia necessária para a sua obtenção reduzem sobremaneira o seu campo de aplicação, além das implicações ecológicas negativas no rejeito dos subprodutos do processo de reciclagem, ou mesmo de produção do alumínio primário.

5.2.2.18 – Oxigénio dissolvido

Gás fundamental nas águas subterrâneas, dando origem a um meio oxidante e jogando um papel de grande importância na solubilização ou precipitação de iões que mudam facilmente de valência, assim como na actividade dos microorganismos. A sua ausência produz um meio anaeróbio. O oxigénio dissolvido é consumido com facilidade se existem substâncias oxidáveis, em especial por acção biológica (Custódio & Llamas, 1983). Na água subterrânea a concentração de oxigénio é reduzida na presença destas substâncias consumidoras de oxigénio (ex.: matéria orgânica, Fe^{2+} , NO_2^- , NH_4^+ , Mn^{2+} e S^{2-}) e, quando o fornecimento é cortado, possivelmente por circulação insuficiente, o oxigénio é totalmente consumido. Por outro lado, o rebaixamento do nível freático resultante do aproveitamento de terrenos como terras agrícolas ou de actividades mineiras aumenta o fornecimento de O_2 (Matthess, 1982).

Sendo o oxigénio um gás, a sua solubilidade na água diminui com o aumento da temperatura e com a diminuição da pressão parcial do O_2 na atmosfera. A presença de substâncias sólidas dissolvidas também reduz a sua solubilidade na água.

É importante distinguir entre a solubilidade do O_2 , que é a concentração máxima de oxigénio dissolvido em equilíbrio, e a concentração de equilíbrio, e é limitada pela taxa com que o oxigénio se dissolve (Manahan, 1994).

A origem do oxigénio nas águas é fundamentalmente não biológica, sendo a sua principal fonte a atmosfera. Mas, segundo Custódio & Llamas (1983) também pode ter origem na dissolução de gases do terreno não saturado e em processos de fotossíntese no seio de águas superficiais; em certos casos, estes processos podem ser a sua principal fonte (Hem, 1985).

Uma água antes de se infiltrar no solo pode estar sobre saturada em oxigénio, mas no terreno, o oxigénio é consumido e a sua renovação é difícil ou mesmo impossível (Custódio & Llamas, 1983). Abaixo da superfície não existem reacções que produzam

oxigénio, existindo, pelo contrário, muitos tipos de reacções que o consomem, incluindo a oxidação da matéria orgânica e as reacções de oxidação-redução que envolvem espécies metálicas reduzidas derivadas da alteração dos minerais (Deutsch, 1997).

Uma concentração de oxigénio dissolvido mais elevada pode ser esperada na água subterrânea próxima das zonas de recarga (Boulding, 1995). No entanto, a água de percolação pode transportar oxigénio dissolvido para maiores profundidades, podendo o oxigénio ser também dissolvido a partir do ar subterrâneo na zona do nível freático e seguidamente ser transportado para níveis de água subterrânea mais profunda por difusão e dispersão do fluxo (Matthess, 1982). Água contendo quantidades mensuráveis de oxigénio dissolvido pode entrar até grandes distâncias no sistema aquífero se pouco material oxidável estiver disponível (Hem, 1985), chegando mesmo a estar saturada (Appelo & Postma, 1996). À medida que o tempo passa, o material oxidável existente no aquífero vai sendo removido ou alterado em longas distâncias a partir do ponto de recarga (Hem, 1985) e a água de recarga, com oxigénio dissolvido, pode atingir zonas cada vez mais distantes em relação à zona de entrada no aquífero.

Os aquíferos arenosos e areno-cascalhentos tendem a ter níveis de oxigénio dissolvido mais elevados que os materiais siltosos ou argilosos (Boulding, 1995); sendo comum a ocorrência de quantidades apreciáveis de oxigénio dissolvido em águas subterrâneas pouco profundas em níveis arenosos, provavelmente como resultado de um baixo teor em matéria orgânica no solo e das elevadas taxas de infiltração através do solo (Freeze & Cherry 1979).

A solubilidade do oxigénio atmosférico nas águas doces sob a pressão de uma atmosfera varia entre 14,6 mg/l e cerca de 7mg/l a 0°C e 35°C, respectivamente (Sawyer *et al.*, 1994). Quanto às águas subterrâneas, estas têm, na sua maioria, concentrações de oxigénio dissolvido entre 0 e 5 mg/l¹⁶, estando frequentemente os valores encontrados abaixo dos 2mg/l (Custodio & Llamas, 1983) mas, segundo Matthess (1982), nas águas recentemente recarregadas atingem-se valores entre 6 a 12 mg/l.

¹⁶ - Em geral, excepto em água muito mineralizadas, considera-se que 1mg/l = 1ppm.

5.2.2.19 – Ferro

Segundo (Morel & Hering, 1993), o Fe ocorre em dois estados de oxidação (+II) e (+III) nas águas naturais, sendo, segundo Deutsch (1997), um dos elementos sensíveis aos processos redox mais importante no ambiente. No estado ferroso, os seus sais são mais solúveis mas, quando é oxidado passa a ferro férrico insolúvel (Custodio & Llamas, 1976). Segundo Reimann & Caritat (1998) o ferro apresenta uma mobilidade ambiental baixa e, em condições oxidantes, muito baixa. Morel & Hering (1993) referem que concentrações de Fe^{3+} são extremamente improváveis de ocorrer nas águas naturais; sendo o ferro divalente (Fe^{2+}) o tipo de ferro mais comum dissolvido na água subterrânea (Matthess, 1982; Hem, 1985 e Hitchon e tal., 1999). Segundo Hitchon e tal., (1999), o ferro é também absorvido nos minerais de argila.

Custodio & Llamas (1983) referem as seguintes fontes para o ferro nas águas: ataque a minerais como silicatos, sulfuretos e óxidos de ferro¹⁷, ataque à maioria das rochas sedimentares e ao entubamento dos poços/furos (carácter local e muito lento). Rodier (1984) refere ainda a poluição industrial como possível origem do ferro nas águas superficiais, sendo as indústrias do ferro e do aço mencionadas por Reimann & Caritat (1998) como fontes para a entrada do ferro no ambiente; Kent & Spycher (1994) referem que a ocorrência de ferro nas águas subterrâneas também pode estar ligada à drenagem de minas. As actividades na biosfera também podem ter forte influência na ocorrência de ferro na água, estando este elemento presente nos lixos orgânicos e nos resíduos de plantas nos solos (Hem, 1985).

As concentrações de ferro presentes na água são geralmente baixas (Hem, 1985). Nas águas subterrâneas, o Fe^{2+} apresenta concentrações geralmente entre 0 e 10 mg/l (águas arejadas têm valores inferiores a 0,5 mg/l), atingindo raramente os 50 mg/l com pH entre 5 e 8.

Contudo, águas muito ácidas podem chegar a 100 mg/l de ferro como Fe^{2+} , enquanto que águas alcalinas só têm quantidades muito pequenas de ferro como Fe^{2+} ou $\text{Fe}(\text{OH})^+$. Em meios oxidantes só existem quantidades mínimas de ferro dissolvido (Custodio & Llamas, 1983). Segundo Clesceri *et al.* (1998), a abundância média de ferro nos cursos de água é de cerca de 0,7 mg/l, tendo na água subterrânea valores entre 0,1 e 10 mg/l; o valor máximo de ferro na água subterrânea referido por Hitchon *et al.* (1999) é de 8000 mg/l.

¹⁷ - O ferro resultante do ataque aos minerais das rochas ígneas pela água, é geralmente reprecipitado a pequena distância, como uma espécie sedimentar (Hem, 1985).

5.2.2.20 – Manganésio

A sua solubilidade depende do pH, do oxigénio dissolvido e da presença de agentes complexantes (Rodier, 1984).

Nas condições esperadas nos sistemas de água naturais, qualquer manganésio dissolvido estará na forma $^{2+}$, predominando o ião Mn^{2+} na maioria das situações (Hem, 1985). O Mn^{2+} oxida-se facilmente a MnO_2 que só existe na forma insolúvel (Custodio & Llamas, 1983), podendo a oxidação do Mn^{2+} ser influenciada por bactérias, provavelmente de forma similar à oxidação do ferro ferroso (Hem, 1985).

O manganésio tem um comportamento semelhante ao do ferro, apesar de ter outra valência, podendo também formar complexos orgânicos estáveis, tal como o ferro (Custodio & Llamas, 1983).

Segundo Reimann & Caritat (1998) o manganésio apresenta uma mobilidade ambiental baixa e, em condições oxidantes, muito baixa.

As fontes de manganésio no ambiente são, segundo Reimann e Caritat (1998), as seguintes: alteração de rochas, poeiras transportadas pelo vento, agricultura (fertilizantes), tráfico de veículos (agente substituído do Pb no combustível), indústrias de mineração e fundição e indústria de produção de aço. Este autor refere que no ambiente as fontes geológicas são geralmente mais importantes do que as antropogénicas. Manahan (1994) refere que nas águas naturais as fontes do manganésio são os lixos industriais, a água ácida de minas e a actividade microbiológica.

As águas superficiais contêm frequentemente menos de 0,05 mg/l de manganésio (Rodier, 1984), sendo em abundância média de manganésio nos cursos de água de cerca de 7 μ g/l (Clesceri e tal., 1998); em cursos de água que recebem efluentes ácidos de minas de carvão o manganésio está frequentemente presente em concentrações superiores a 1 mg/l (Hem, 1985). As águas subterrâneas geralmente têm valores de manganésio inferiores a 0,2 mg/l, e raramente acima de 1 mg/l, sendo este elemento mais abundante em águas ácidas (Custodio & Llamas, 1983). A abundância média nas águas é inferior a 0,1 mg/l (Clesceri *et al.*, 1998) e o valor máximo é superior a 10 mg/l (Hitchon *et al.*, 1999). Os valores da ordem de 1 mg/l ocorrem em particular quando há um ataque da água à rocha suporte em meio redutor, ou sob a acção de certas bactérias nas águas subterrâneas (Rodier, 1984).

5.2.3 - Parâmetros microbiológicos

5.2.3.1 - Coliformes totais

O parâmetro coliforme total engloba os coliformes fecais e não fecais.

Este grupo de bactérias não provém apenas das fezes dos animais de sangue quente, mas também da vegetação e do solo.

Os organismos do grupo coliformes são um bom indicador microbiano da qualidade da água devido principalmente à facilidade de detectar na água e enumerar. As bactérias coliformes têm uma relação directa com a presença de vírus, a sua determinação na água é essencial para a vigilância da qualidade microbiana da água.

Este facto reforça a ideia de que a presença de coliformes na água não é constante, variando de acordo com as condições que favorecem o seu desenvolvimento e com a época do ano em que é feita a amostragem, pelo que, uma avaliação pontual através duma única análise não deve ser tida como suficiente para a classificação desta mesma água. Porém não foi possível a obtenção dum maior número de boletins de análises devido à fraca colaboração dos organismos a quem foi solicitado tal informação.

5.2.3.2 - Coliformes do tipo fecal

A **Escherichia Coli** é um exemplo de um coliforme fecal traduzindo de forma muito significativa, um elemento patogénico accidental presente no intestino humano. Os coliformes fecais não são mais do que indicadores de contaminação fecal. A sua presença não indica a existência de outros germes patogénicos, mas é factor suficiente para justificar que a água se encontra em inadequadas condições para ser ingerida. Quando existem dúvidas ou quando há presença de organismos coliformes e ausência de bactérias coliformes fecais, podem ser usados outros organismos indicadores que confirmem a existência de uma contaminação de natureza excrementícia, como é o caso dos estreptococos fecais e os clostrídios sulfitorreductores (OPS, 1987).

A presença de coliformes nas águas das fontes é um facto conhecido e preocupante, na medida em que indica uma possibilidade de proliferação de doenças através do meio hídrico.

5.2.3.3 - Streptococos fecais

Um indicador de poluição fecal é o *Streptococcus faecalis*, cuja determinação complementa e confirma a tipologia associada à contaminação. Esta denominação refere-se aos estreptococos que normalmente se encontram nas fezes dos seres humanos e animais, sendo muito rara a sua multiplicação na água contaminada.

Quando este grupo é usado como indicador complementar da presença de bactérias, a proporção entre organismos coliformes fecais e estreptococos fecais ($< 3:1$ para dejectos de procedência humana; $< 0.7:1$ para outros dejectos de origem animal) podem servir para detectar a origem da contaminação fecal em fontes de água natural com algum índice de contaminação (SPO, 1987).

5.2.3.4 - Clostrídios sulfitorredutores

Os esporos clostrídios podem subsistir na água por períodos mais prolongados que as bactérias do grupo coliforme. Estes organismos tendem a sobreviver e acumular-se, podendo-se detectar em pontos distantes, pelo que, não representam portanto um bom indicador da localização do foco contaminante e período de contaminação (SPO, 1987).

Os organismos deste grupo caracterizam-se pela sua habilidade para formar esporos e para reduzir o sulfito.

5.3 – Métodos para a caracterização Hidroquímica da água subterrânea

Vários são os métodos de estudo da Hidroquímica das águas. Os que aqui vão ser referenciados são: os diagramas de Piper, diagramas de Stiff e diagramas de Scholler-Berkaloff, que possibilitam uma visão do conjunto da composição da água, fornecem indicação das fácies hidrogeoquímica, podendo através da observação destes e em comparação com o tipo de fácies hidrogeoquímicas característica de cada região tirar conclusões acerca de possíveis contaminações.

5.3.1 – Diagrama de Piper

Diagrama de Piper ou também chamado diagrama triangulares, utiliza a proporção da actividade dos iões maioritários presentes na água para caracterizar a fácies hidrogeoquímicas (Fetter, 1994) da água subterrânea. A saber, dentre os catiões estão Ca^{2+} , Mg^{2+} e $\text{Na}^+ \text{K}^+$ (Na e K são contabilizados juntos) e dentre os aniões estão o Cl^- , SO_4^{2-} e $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$. Neste tipo de diagrama os valores dos aniões e catiões são representados em dois triângulos separados, existindo ainda um campo central romboidal, onde se representam outros pontos, obtidos a partir da projecção dos pontos obtidos nos dois triângulos para o campo central romboidal.

O Diagrama de Piper é frequentemente utilizado para classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto aos iões dominantes. O programa gera o diagrama de Piper e mostra a classificação das amostras segundo este critério. A representação gráfica pode evidenciar possíveis relações entre iões de uma mesma amostra, ou ressaltar variações temporais ou espaciais existentes.

Águas Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas, apresentam um tempo de residência não muito grande, com recarga relacionada às precipitações pluviométricas através do manto de intemperismo. Estas águas estão associadas com as áreas de recarga dos aquíferos fracturados em questão. Das características físico-químicas e químicas, destacam-se por apresentar valores mais baixos de pH e sólidos totais dissolvidos.

Águas Bicarbonatadas Sódicas, destacam-se por apresentar valores de pH invariavelmente alcalinos, baixa dureza e sólidos totais dissolvidos com valores que sugerem mistura com águas provenientes de áreas de potenciometria mais elevada do aquífero subjacente.

Águas Sulfatadas ou Cloretadas Cálcicas Magnesianas, O tipo III representa águas com pH abaixo de 7, STD em torno de 50 mg/l, dureza abaixo de 20 mg/l (moles) além de apresentarem teores baixos de fluoretos.

Águas Sulfatadas ou Cloretadas Sódicas, apresenta águas em geral alcalinas, STD alto, com dureza elevada e teor de F relativamente alto. Este tipo de água, também apresenta influência do aquífero poroso subjacente.

5.3.2 – Diagrama de Schoeller-Berkaloff

Diagrama de colunas verticais que utiliza escalas logarítmicas, sendo por isso muito útil, quando se pretende representar no mesmo diagrama águas muito diluídas e águas bastante concentradas. Possibilita, também, agrupar as águas por “famílias”.

5.3.3 – Diagrama de Stiff

Diagrama hidroquímico mais adequado à representação de águas subterrâneas. Representa graficamente o resultado da análise química de uma água, onde as concentrações dos catiões Na+K, Ca, Mg e Fe dos aniões Cl, HCO₃, SO₄ e NO₃ são representadas em meq/l ou percentagem de meq/l, sobre quatro rectas paralelas, horizontais e igualmente espaçadas entre si. Estas quatro rectas são cortadas por uma normal, obtendo-se assim dois campos, um para os catiões e outro para os aniões. A união das extremidades obtidas permite a obtenção de polígonos característicos para as águas analisadas.

CAPÍTULO 6

Caracterização da área em estudo

- 6.1 – Análises de dados.
 - 6.1.1 – Inventário de pontos de água.
 - 6.1.2 – Sistemas aquíferos
 - 6.1.3 – Superfície piezométrica (esboço).
- 6.2 – Análises de dados de produtividade.
 - 6.2.1 – Diagramas de Piper.
 - 6.2.2 – Diagramas de Stiff.
 - 6.2.3 – Diagramas de Schoeller-Berkalof.
 - 6.2.4 – Outros parâmetros
- 6.3 – Classificações

6.1 – Análises de dados.

6.1.1 – Inventário de pontos de água.

No âmbito dos trabalhos desenvolvidos para elaboração desta tese, foi feito um inventário de pontos de água, quase todos furos de captação (apenas se incluem sete poços). O total de pontos inventariados foi de 164, a grande maioria retirada dos arquivos da empresa Sondagens Neves (onde a signatária exerce funções técnicas).

Da recolha de dados que foi realizada, foi elaborada a tabela que está em anexo, (Anexo 1). Neste anexo estão representadas as quatro Cartas Militares, estando cada carta representada por uma cor diferente.

Neste inventário, para cada ponto de água são indicadas as coordenadas, quer no sistema UTM (Datum WGS84), quer Gauss (Datum Lisboa), sistema aquífero (classificação Inag), cota do terreno, localização, método de furação utilizado, profundidade, diâmetros, caudais (em l/s), nível hidrostático e hidrodinâmico, profundidade da bomba e as principais litologias atravessadas. Ressalve-se que, em certos casos, nem sempre foi possível obter todos estes dados.

A partir dessa tabela, foram determinadas cotas de água, caudais específicos, etc. que também se encontram em anexo.

Na verdade a maior parte dos furos têm localização em zona plana, junto das populações, (para a agricultura, etc.)

Quanto á configuração, temos furos com profundidade variável, com ralos em várias posições, etc.

Portanto o nível piezométrico de cada ponto traduz as condicionantes Hidrogeológicas desse ponto de captação. Isto quer dizer que se houver 2 furos muito próximos mas de zonas captantes muito diferentes (diferentes profundidades) podemos ter níveis também muito diferentes.

Deve dar-se nota da qualidade muito sofrível (nalguns casos manifestamente deficiente) dos elementos recolhidos, factor que limitou, de forma drástica, a execução deste estudo. O tempo disponível, bem como os prazos impostos pelo próprio regulamento do mestrado, tornou inviável que estas carências se pudessem amenizar em tempo útil. Contudo, ainda foram feitas medições de níveis em alguns pontos de água para ser possível um esboço da piezometria geral da área cartografada.

O mapa com a localização de todos os pontos inventariados apresenta-se de seguida. No entanto, para melhor reconhecimento das localizações individuais por parte de eventuais futuros utilizadores destes dados, inclui-se os anexos 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 com mapas em tamanho mais pormenorizado.

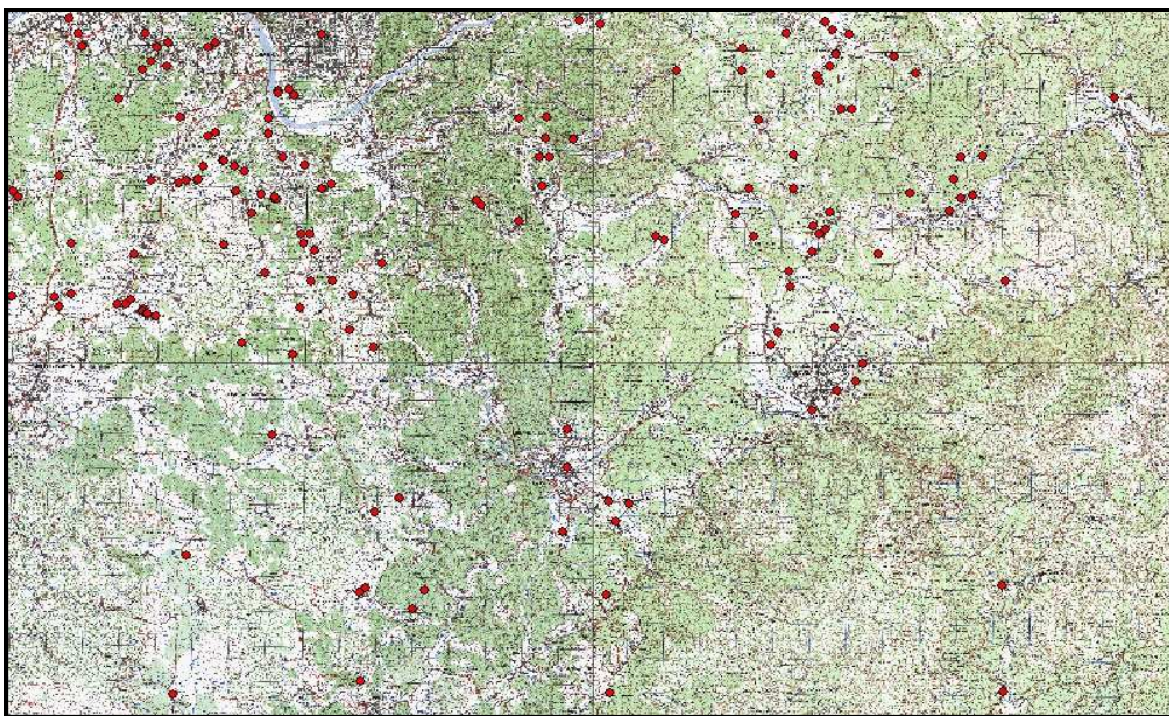


Figura 6.1 – Conjunto das quatro Cartas Militares em estudo, com os furos inventariados.

6.1.2 – Sistemas aquíferos

Na área representada na carta 19-D, ocorrem formações que pertencem aos seguintes sistemas aquíferos, considerando a classificação do Instituto da Água:

- **Maciço Hespérico** – onde foram inventariados 86 pontos de água. A produtividade das captações é baixa a muito baixa, condicionada pela fracturação que possa ocorrer.

- **Aluviões do Mondego** – tendo sido inventariados 18 pontos de água; verificou-se ser um sistema aquífero muito produtivo, poroso, como resultado da variabilidade das condições texturais e estruturais no volume aluvionar. Sendo o caudal específico influenciado pela variabilidade litológica e pela ligação hidráulica às linhas de água.

O nível freático está próximo da superfície do terreno, a apenas alguns metros de profundidade.

A classificação das águas, parece que a fácies varia com os sectores do sistema aquífero:

- **Condeixa-Alfarelos** – com 30 pontos de água inventariados; as produtividades variam muito em função do grau de carsificação das formações, com caudais entre 20 L/s e 1,1 L/s.

Só foi obtida uma análise química, tendo as características da água analisada correspondidas às esperadas para este sistema aquífero: fácies bicarbonatada-cálcica, pH acima de 7, mineralização média. Quanto à dureza, esta água é considerada dura.

- **Penela-Tomar** – com 30 pontos de água inventariados, constituído por dolomitos, calcários compactos, calcários dolomíticos também compactos com algumas intercalações margosas), do Liásico. Os caudais variam entre 8 L/s e 0,4 L/s.

6.1.3 - Superfície piezométrica (esboço).

Como foi referido, são escassos os dados referentes à piezometria da região da carta 19-D. Por outro lado, ao não ser conhecida, com um mínimo de rigor, a configuração dos furos inventariados, os valores dos níveis e das respectivas cotas piezométricas têm muito pouca fiabilidade. Porém foi feita uma tentativa de obter linhas piezométricas, de forma a se poder ter uma ideia, mesmo que geral, do esquema hidrogeológico desta área.

O esboço conseguido é o que se apresenta na figura 6.2 e que está no anexo 19 onde se vê com mais pormenor.

Apesar da evidente falta de pontos de apoio, é possível observar-se que há correspondência entre a topografia e a “tendência” da superfície piezométrica em toda a parte oriental da carta e que, grosso modo, pertence às formações do Maciço Hespérico. As direcções gerais do fluxo subterrâneo dirigem-se das linhas de festo para os interflúvios. Esta característica é concordante com a ocorrência de aquíferos freáticos, o que, por sua vez, também coincide com o que se considera “normal” neste ambiente hidrogeológico.

Evidencia-se, também, que os gradientes hidráulicos são altos, como é típico de formações de permeabilidade muito baixa.

Por outro lado, na parte ocidental da carta 19-D, foi praticamente impossível esboçar sequer linhas isopiezométricas: as unidades aquíferas que existem neste sector são muito mais variadas, nada se sabe sobre conexões hidráulicas entre elas e as cotas piezométricas determinadas não puderam ser aferidas e atribuídas a uma determinada unidade aquífera. Só se pode observar que junto ao vale do rio Mondego as cotas piezométricas são sempre mais baixas que na restante área cartografada. Isto significa que as aluviões do Mondego estão subordinadas ao próprio rio, tal como outros trabalhos anteriores já referem (Andrade, 2004, por exemplo).

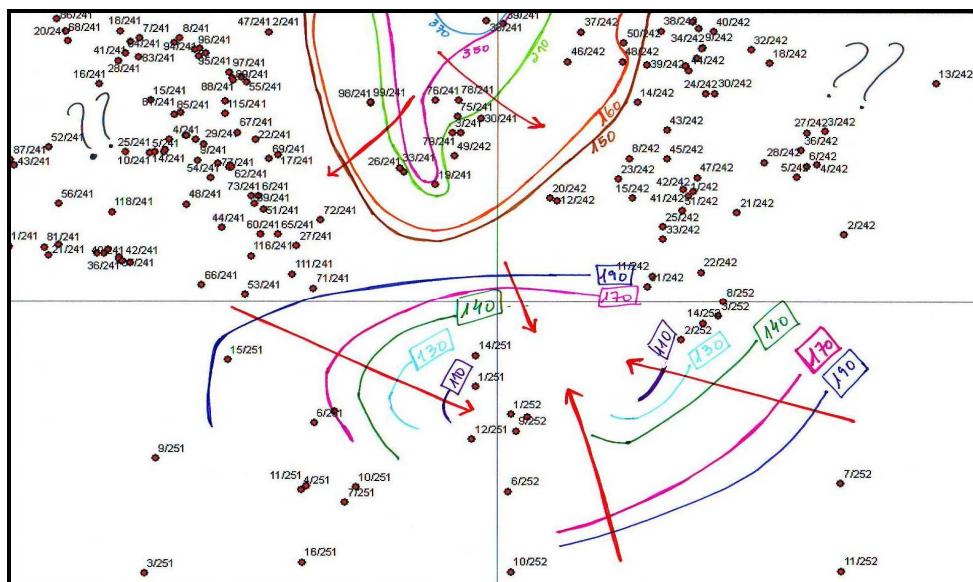


Figura 6.2 – Esboço Piezométrico.

6.2 – Análises de dados de produtividade

Com base na tabela representada no anexo 12 e 13, realizou-se um estudo dos caudais específicos dos furos. Deste estudo obtivemos a tabela do anexo 14, onde vimos quais os furos com maior caudal específico e quais as litologias associadas a esses caudais.

Com base na tabela do anexo 14, desenhámos os histogramas de frequências para ver se havia alguma litologia que se evidenciava.

Foram efectuados os cálculos das amplitudes de distribuições, as classes, etc.

Amplitude da Distribuição: $[0.005 - 42.735]$ (L/m.s)

Quantas Classes: $\sqrt{137} = 11,705 = 12$

Amplitude a usar em cada classe: $42.735 - 0.005 = 42.73$ (L/m.s)
 $42.73 / 12 = 3,56$ (L/m.s)

Amplitude será de: 3, 56 (L/m.s)

Classes (xi)	Ponto Médio da Classe (xi')	Frequência Absoluta (fi)
[0,005 - 3,565[	1,785	128
[3,565 - 7,125[	5,345	4
[7,125 - 10,685[	8,9	1
[10,685 - 14,245[	12,46	1
[14,245 - 17,805[	16,02	1
[17,805 - 21,365[	19,58	0
[21,365 - 24,925[	23,14	0
[24,925 - 28,485[	26,7	0
[28,485 - 32,045[	30,26	0
[32,045 - 35,605[	33,82	1
[35,605 - 39,165[	37,38	0
[39,165 - 42,725[	40,94	1

Tabela 6.1 – Tabela de Frequências Absolutas para uma amplitude de 3,565 L/s.m.

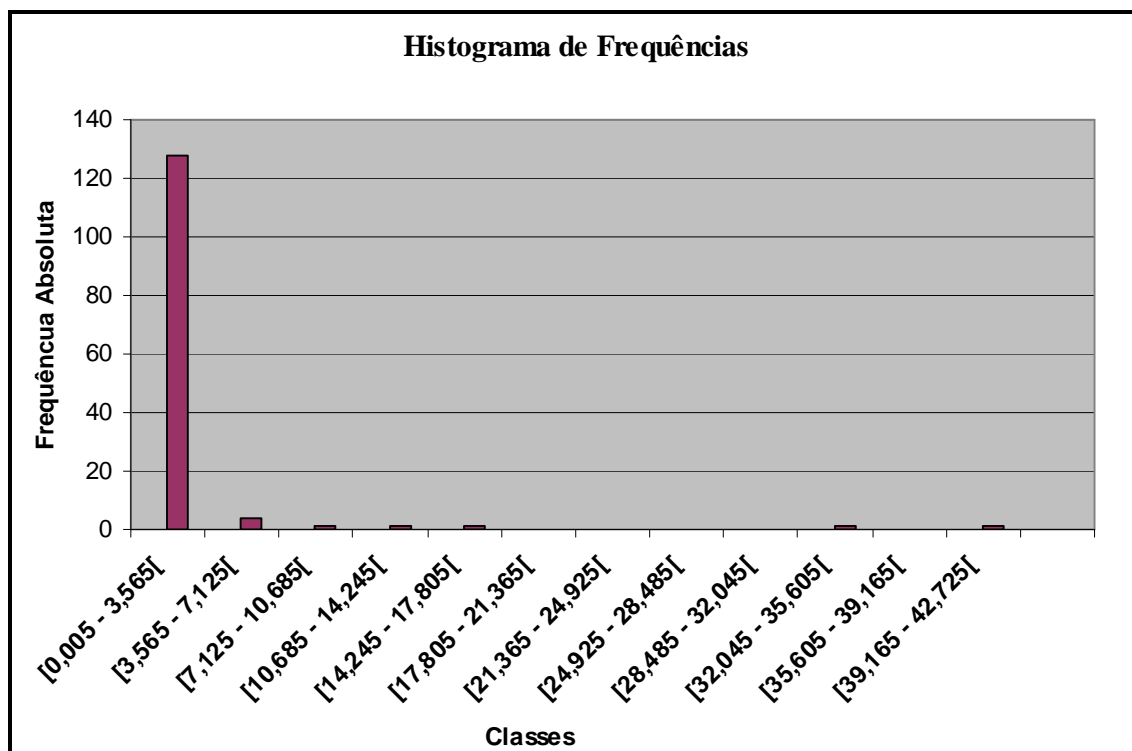


Figura 6.3 – Histograma de Frequência com amplitude de 3,565 L/m.s.

Deste histograma pode ver-se que a grande maioria das captações inventariadas são de baixa produtividade, abaixo de 3,565 L/m.s, o que não constitui nenhuma excepção dado o facto de haver muitos furos construídos em formações do designado “cristalino”.

Os valores elevados de caudais específicos são todos de poços e furos das aluviões do Mondego, facto que também não constitui qualquer excepção, tendo em conta as características hidrogeológicas dessas formações e sua relação hidráulica com o próprio rio.

A classe [0,005 - 3,565] é a que mais se evidencia, sendo constituída por uma trama variada de litologias todas com caudais muito semelhantes, o que “mascara” a subdivisão das classes.. Desta forma, decidiu-se elaborar novo histograma subdividindo apenas a classe em questão.

Amplitude da Distribuição: [0.005 – 3,565] (L/m.s)

Quantas Classes: $\sqrt{128} = 11,31 = 12$

Amplitude a usar em cada classe: $3,565 - 0,005 = 3,56$ (L/m.s)

$3,56 / 12 = 0,296$ (L/m.s)

Amplitude será de: 0,296(L/m.s)

Classes (xi)	Ponto Médio da Classe (xi')	Frequência Absoluta (fi)
[0,005 - 0,301[	0,1255	34
[0,301-0,597[	0,4715	28
[0,597 – 0,893 [	0,7675	21
[0,893 – 1,189[	1,0635	43
[1,189 – 1,485[	1,3595	0
[1,485 – 1,781[	1,776	0
[1,781 – 2,077[	1,9515	1
[2,077 – 2,373[	2,2475	0
[2,373 – 2,669[	2,5435	0
[2,669 – 2,965[	2,8395	0
[2,965 – 3,261[	3,1355	1
[3,261 – 3,557[	3,4315	0

Tabela 6.2 – Tabela de Frequências Absolutas para uma amplitude de 0,296 L/s.m.

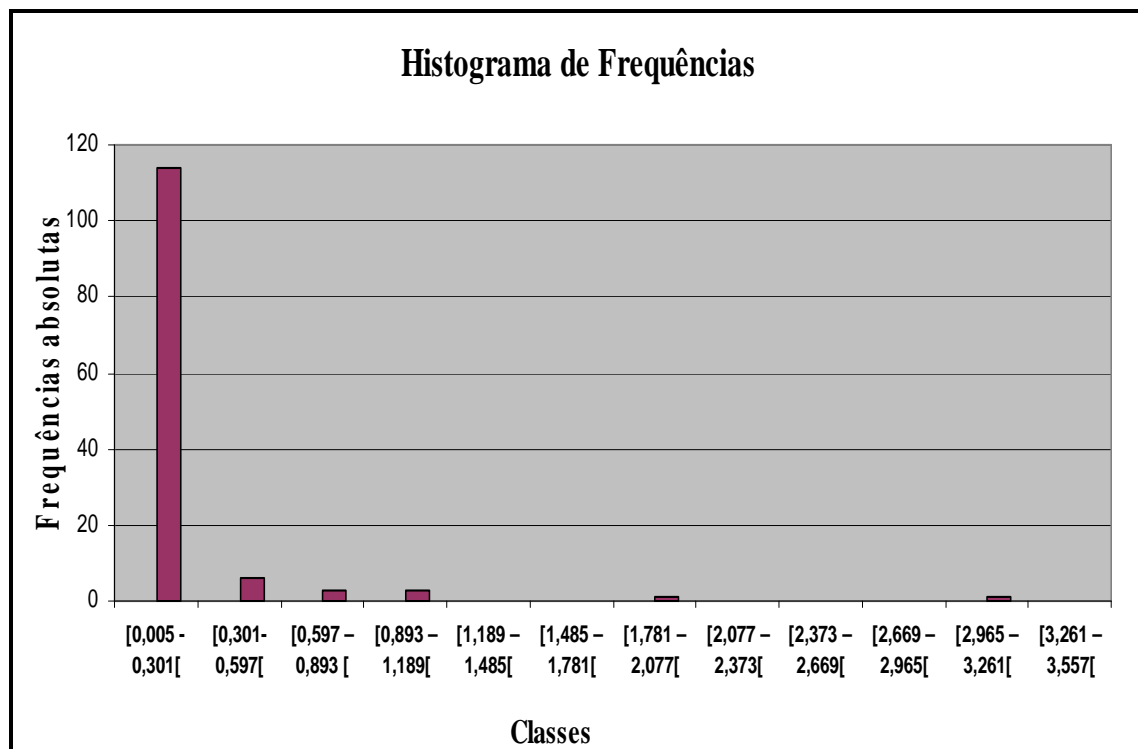


Figura 6.4 – Histograma de Frequência com amplitude de 0,296 L/m.s.

Neste histograma podemos ver que a situação se mantém, não se consegue obter mais informação.

Como comentário final, faria falta obter dados de ensaios de caudal que pudessem ser interpretados para se chegar a valores (ou, pelo menos, ordens de grandeza) dos parâmetros hidrogeológicos das várias unidades aquíferas ocorrentes.

6.2.1 – Diagramas de Piper

	Nº 93/241	Nº 94/241	Nº 95/241	Nº 96/241	Nº 97/241	Nº 98/241	Nº 99/241	Nº 118/241
Mg ⁺⁺ (meq/dm ³)	0.30	0.18	0.45	0.46	0.57	0.33	0.11	1.48
Ca ⁺⁺ (meq/dm ³)	0.30	0.18	0.35	0.43	0.64	0.17	0.16	4.00
Ca+Mg (meq/dm ³)	0.60	0.36	0.80	0.89	1.21	0.50	0.27	5.48
Na ⁺⁺ (meq/dm ³)	0.90	0.42	0.40	0.91	1.09	0.42	0.69	3.01
K ⁺⁺ (meq/dm ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na+ K (meq/dm ³)	0.90	0.42	0.40	0.91	1.09	0.42	0.69	3.01
Cl ⁻ (meq/dm ³)	0.90	0.35	0.70	0.90	1.10	0.40	0.40	2.70
SO ₄ ⁼ (meq/dm ³)	0.10	0.13	0.10	0.20	0.20	0.12	0.21	0.38
SO ₄ +Cl (meq/dm ³)	1.00	0.48	0.80	1.10	1.30	0.52	0.61	3.08
HCO ₃ ⁻ (meq/dm ³)	0.50	0.30	0.40	0.70	1.00	0.40	0.35	5.40
CO ₃ ⁻ (meq/dm ³)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ +HCO ₃ (meq/dm ³)	0.50	0.30	0.40	0.70	1.00	0.40	0.35	5.40
Condutividade (µS/cm)	1.90	56.00	108.00	185.70	184.00	94.00	99.20	
pH	6,5	6,3	6,1	6,5	6,35	6,4	7,2	7.4

Tabela 6.3 – Tabela de Valores de compostos químicos, para os Diagramas de Piper.

São obviamente muito poucas (mais concretamente oito) as análises disponíveis, apenas as que constam nos relatórios dos furos de captação e, com uma exceção, só foram obtidas análises dos Aluviões do Mondego o que torna impossível ter uma visão das diferentes fácies hidrogeoquímicas que ocorrem na área em estudo. O furo de que se obteve também uma análise química explora formações do sistema Condeixa-Alfarelos que é constituído por formações Cretácicas e Jurássicas e situa-se perto de Cernache.

● 93/241	● 94/241	● 95/241	● 96/241
● 97/241	● 98/241	● 99/241	● 118/241

Tabela 6.4 – “Cor” dos furos de que foram obtidas análises de água

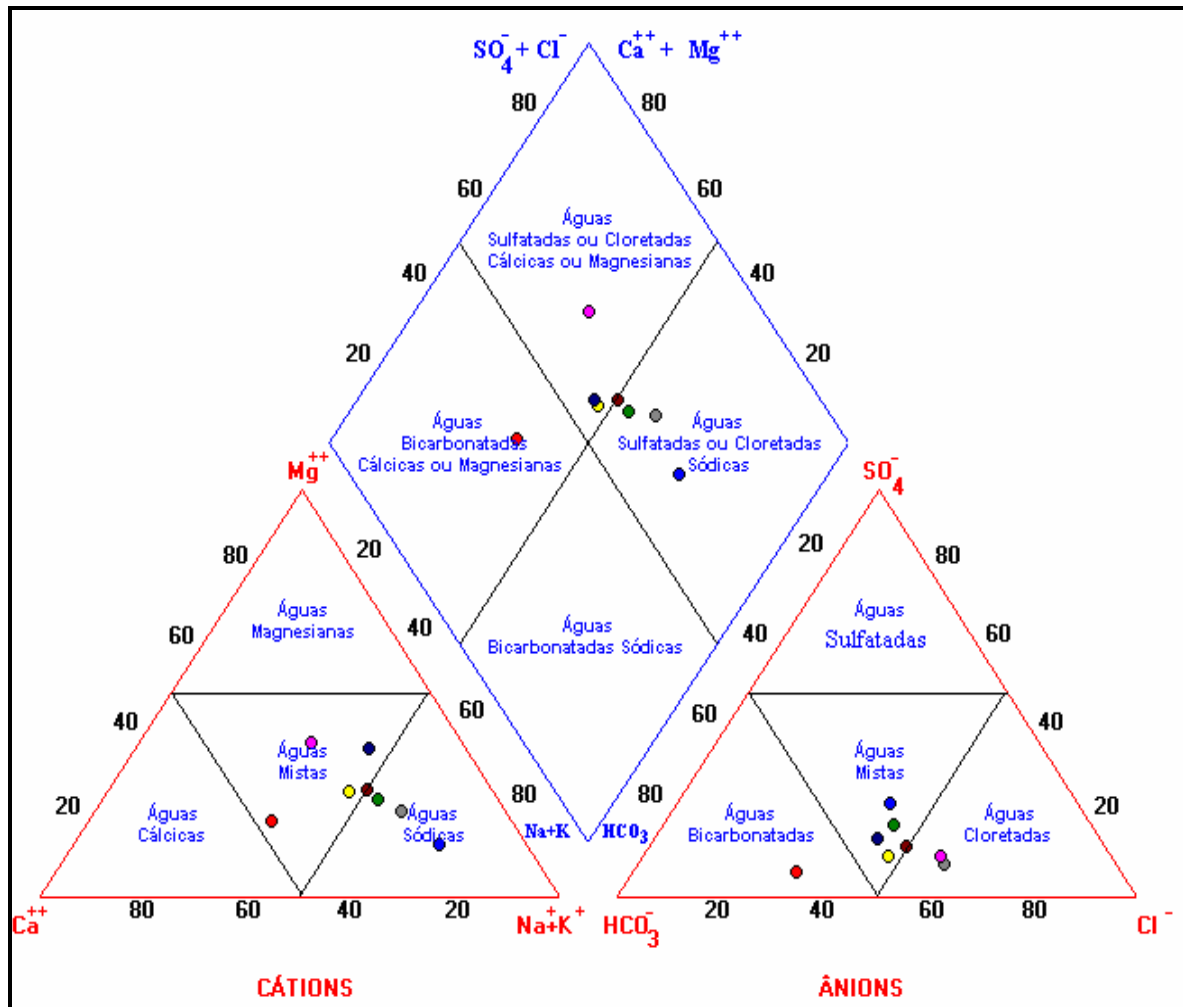


Figura 6.5 – Diagrama de Piper.

Foram elaborados diagramas de Piper, de Stiff, e de Schoeller-Berkaloff como técnicas de estudo da qualidade das águas analisadas.

Nestes diagramas, que se apresentam na figuras 6.5 até á figura 6.14, das oito amostras de águas, são representadas com cores diferentes tal como é indicado na tabela 6.4. Este processo é viável neste caso em que só se dispõe de oito amostras.

Este diagrama demonstra que na parte aniónica as amostras das aluviões do Mondego são relativamente homogéneas, situando-se os pontos representativos perto uns dos outros. As águas são cloretadas ou cloretadas bicarbonatadas.

Já no que concerne à parte catiónica há maior dispersão, entre o pólo das águas predominantemente sódicas e as calco magnesianas. Esta dispersão pode ser considerada, contudo, como “normal”, dado que as espécies catiónicas são muito mais susceptíveis de inter-trocas, nomeadamente quando as formações aquíferas têm fracção argilosa que proporcione fenómenos de “intercâmbio de bases”.

Destaca-se, neste diagrama, a água de Cernache, devido ao seu carácter francamente bicarbonatado-cálcico. Esta fácies resulta, como seria de esperar, do contacto com formações carbonatadas, como são as que ocorrem no sistema Condeixa-Alfarelos. Esta amostra tem também um valor de pH que é o mais alto de todas as amostras aqui tidas em conta. Este aspecto tem também a ver com o facto de ser uma água de circulação em meio carbonatado.

6.2.2 – Diagramas de Stiff

Como foi dito anteriormente, estes diagramas são elaborados com meq/l e não com percentagens, pelo que se pode avaliar a mineralização de cada água.

As sete amostras das captações das aluviões do Mondego estão representadas com a mesma escala, dado que a mineralização total não é muito elevada (valores de condutividade eléctrica inferiores a 190 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

É possível confirmar que há maior variação na “metade” dos catiões.

	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº
	93/241	94/241	95/241	96/241	97/241	98/241	99/241	118/241
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	190	56.00	108.00	185.70	184.00	94.00	99.20	
Mg ⁺⁺ (meq/dm³)	0.30	0.18	0.45	0.46	0.57	0.33	0.11	1.48
Ca ⁺⁺ (meq/dm³)	0.30	0.18	0.35	0.43	0.64	0.17	0.16	4.00
Na ⁺ (meq/dm³)	0.90	0.42	0.40	0.91	1.09	0.42	0.69	3.01
Cl ⁻ (meq/dm³)	0.90	0.35	0.70	0.90	1.10	0.40	0.40	2.70
SO₄ ⁼ (meq/dm³)	0.10	0.13	0.10	0.20	0.20	0.12	0.21	0.38
HCO₃ ⁻ (meq/dm³)	0.50	0.30	0.40	0.70	1.00	0.40	0.35	5.40
Total	3.00	1.56	2.40	3.60	4.60	1.84	1.92	16.97

Tabela 6.5 – Tabela de Valores de compostos químicos, para os Diagramas de Stiff.

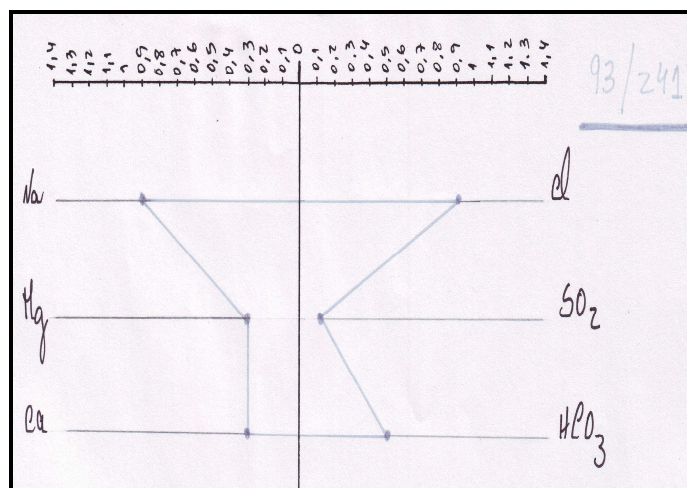


Figura 6.6 – Furo 93/241.

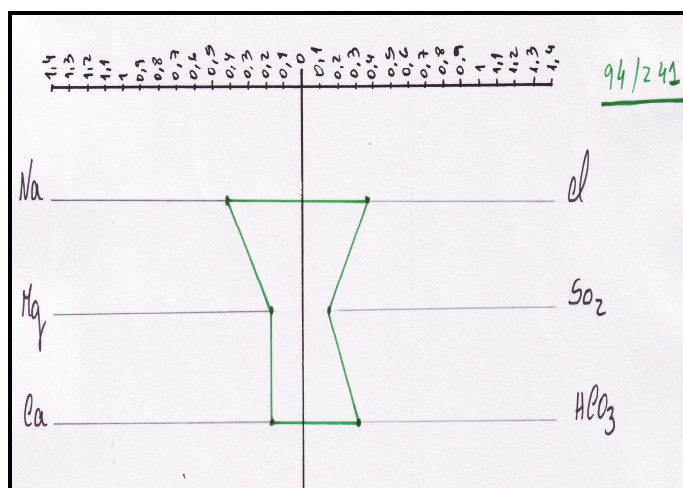


Figura 6.7 – Furo 94/241.

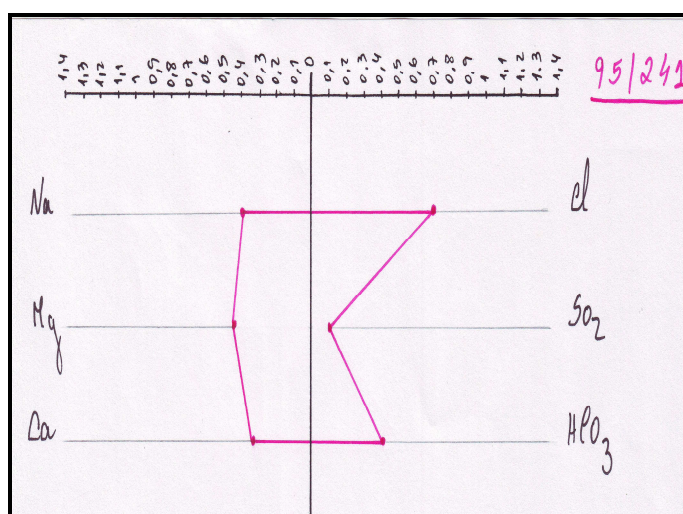


Figura 6.8 – Furo 95/241.

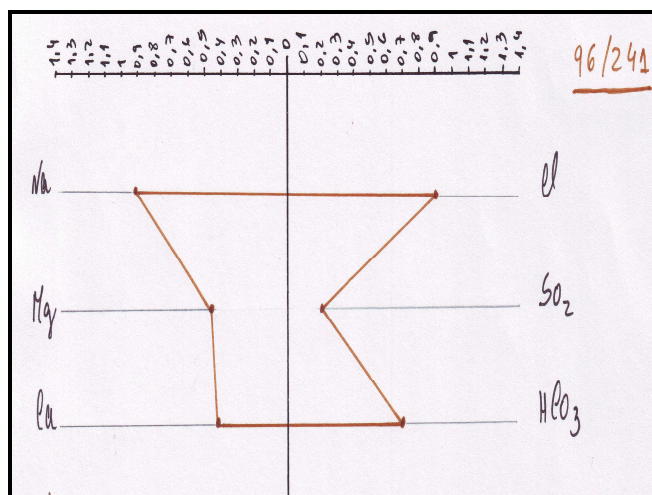


Figura 6.9 – Furo 96/241.

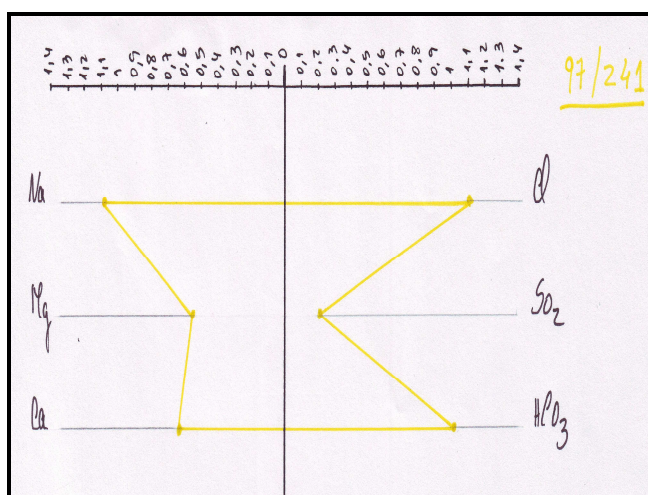


Figura 6.10 – Furo 97/241.

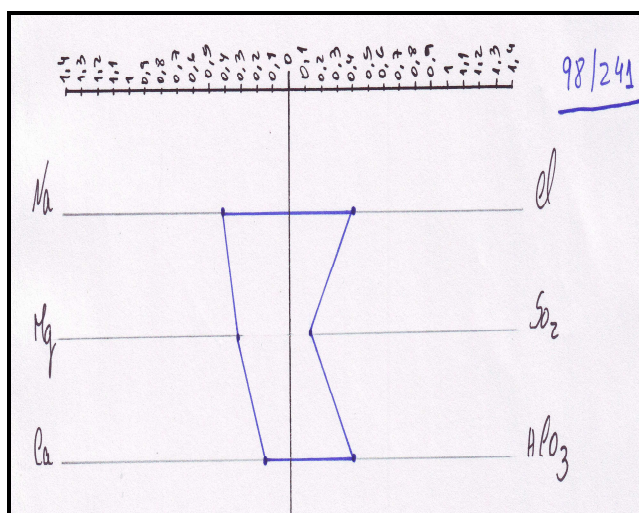


Figura 6.11 – Furo 98/241.

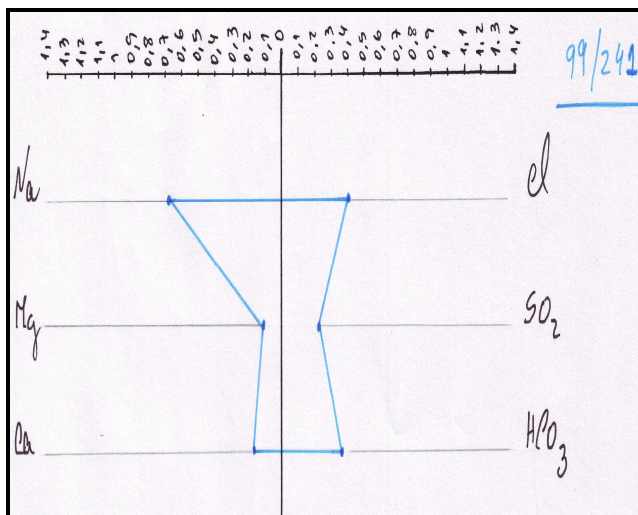


Figura 6.12 – Furo 99/241.

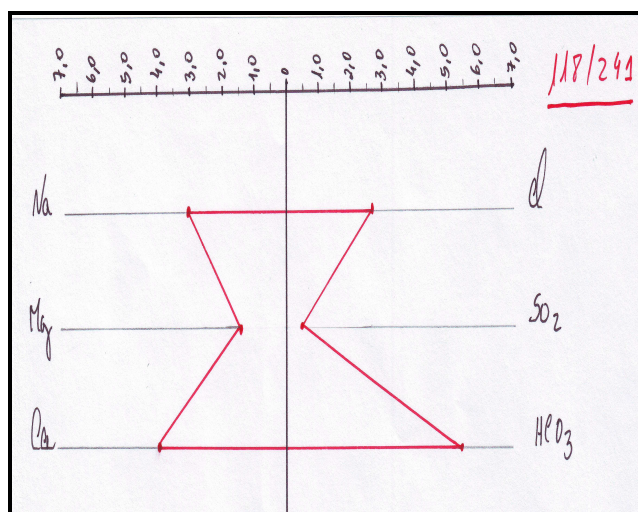


Figura 6.13 – Furo 118/241.

Estes diagramas evidenciam que as águas das Aluviões do Mondego, para além de serem de baixa mineralização, são de fácies predominantemente cloretada-sódica, nalguns casos com a componente bicarbonatada também marcante. Por outro lado, parece haver redução de sulfatos. Ao não serem conhecidas as condições de amostragem e do período havido entre a toma de amostras e as determinações laboratoriais, não se pode saber se os baixos teores de sulfato são devidos a fenómenos naturais ou a reduções causadas por reacções que possam ter lugar após a recolha.

Estas características enquadram-se bem nas que foram referidas no capítulo 3 para este sistema aquífero das Aluviões do Mondego.

A água do furo de Cernache é muito mais mineralizada que as outras, razão que motivou ter de ser representada, neste diagrama, com escala diferente (o que deve ser levado em conta na observação que se faça). É evidente, nesta água, o carácter bicarbonatado-cálcico, fácies que resulta da circulação em formações carbonatadas.

Parece, também, haver redução de sulfatos.

Estas características indicam que esta água não está afectada por qualquer estrutura diapírica que, em certos sectores do sistema Condeixa-Alfarelos, se verificou existir.

6.2.3 – Diagrama de Schoeller-Berkalof

	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº
	93/241	94/241	95/241	96/241	97/241	98/241	99/241	118/241
Mg ⁺⁺ (meq/dm ³)	0.30	0.18	0.45	0.46	0.57	0.33	0.11	1.48
Ca ⁺⁺ (meq/dm ³)	0.30	0.18	0.35	0.43	0.64	0.17	0.16	4.00
Na ⁺ (meq/dm ³)	0.90	0.42	0.40	0.91	1.09	0.42	0.69	3.01
Cl ⁻ (meq/dm ³)	0.90	0.35	0.70	0.90	1.10	0.40	0.40	2.70
SO ₄ ⁼ (meq/dm ³)	0.10	0.13	0.10	0.20	0.20	0.12	0.21	0.38
HCO ₃ ⁻ (meq/dm ³)	0.50	0.30	0.40	0.70	1.00	0.40	0.35	5.40

Tabela 6.5 – Tabela de Valores de compostos químicos, para os Diagramas de Schoeller - Berkalof.

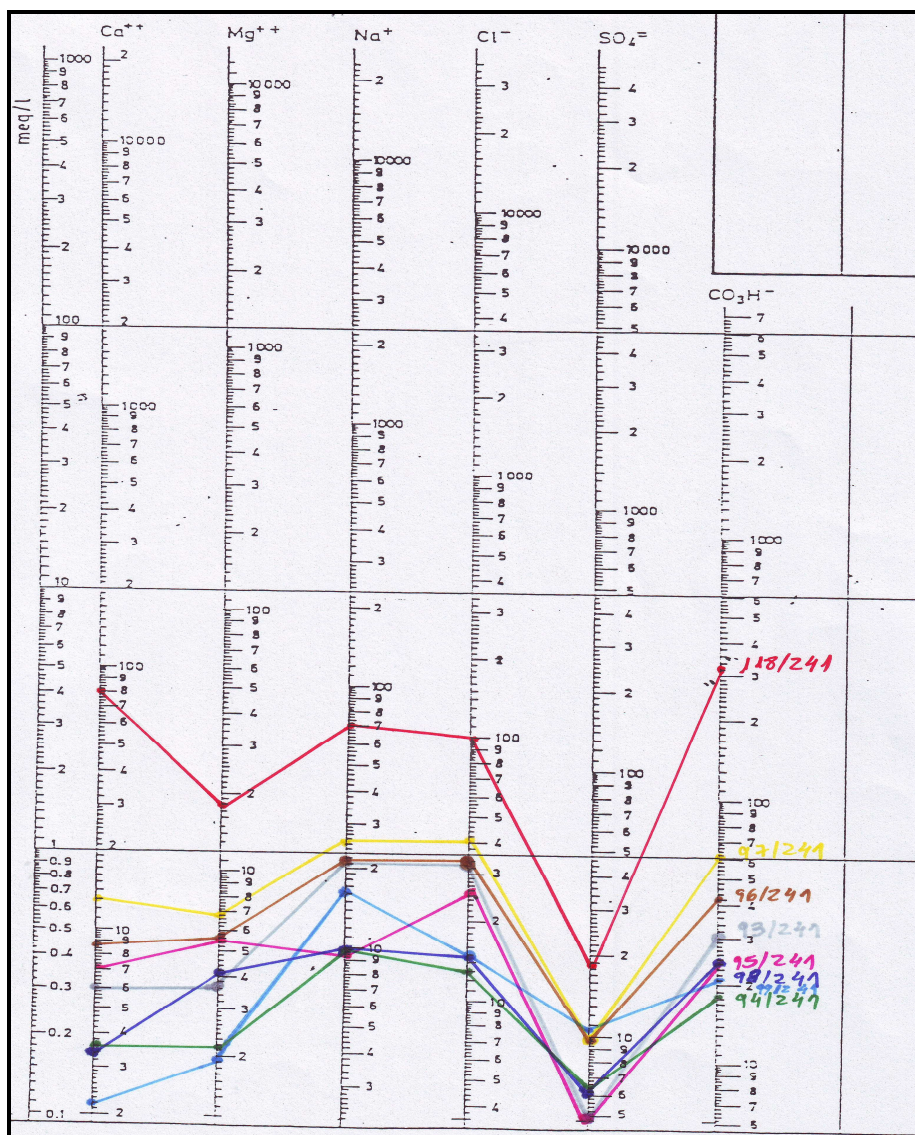


Figura 6.14 – Representação das águas

A análise deste diagrama permite, como foi dito anteriormente, agrupar as águas por “famílias”. E é o que se pode depreender da figura 6.14. Com efeito, as sete amostras provenientes das Aluviões do Mondego, encontram-se “agrupadas” na parte inferior do diagrama (são todas de baixa mineralização) mas têm “desenhos” muito parecidos. A exceção, mas apenas na parte catiónica é água do furo 98/241, com valores de magnésio algo diferentes das outras amostras.

E neste diagrama é bem visível como a água de Cernache se destaca, pertence a outra “família”, pelas razões que já foram referidas.

6.2 4 – Outros parâmetros

pH

Os valores de pH disponíveis (ver Anexo 15) correspondem ao que seria de esperar para os sistemas aquíferos donde provêm: águas ligeiramente ácidas nas aluviões do Mondego (a excepção da água 99/241 não é, de todo, muito vincada); pH mais alto (7,4) para a água do sistema Condeixa-Alfarelos.

Nitratos

Os valores disponíveis de nitratos são todos baixos. Por isso parece não haver, pelo menos nestas amostras, problemas de contaminações resultantes da actividade agrícola. Uma maior densidade de amostragem certamente poderia oferecer resultados bem diferentes, nomeadamente em zonas do vale do Mondego (ver Andrade, 2004).

6 3 – Classificações

Considerando os vários tipos de classificações, as águas das Aluviões do Mondego são:

Doces (resíduo seco < 2000 ppm) e brandas (dureza < 5 °F).

Quanto à água de Condeixa, tem-se:

Doce e dura (dureza > 20 °F).

A escassez de dados disponíveis não permite chegar a resultados mais elaborados. Pode recomendar-se que, de futuro, todas as construções de captações de água subterrânea deverão contemplar, obrigatoriamente, a inclusão de uma análise físico-química e microbiológica.

CAPÍTULO 7

Conclusões e Recomendações

7.1 – Conclusões

7.2 – Recomendações

7.1 – Conclusões

Antes da elaboração deste trabalho, foram previstos objectivos ou metas que deveriam ser atingidos, nomeadamente uma caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica gerais da carta 19D Coimbra-Lousã. A escassez de dados disponíveis e, também, a débil fiabilidade desses dados, tornaram muito difícil alcançar esses objectivos. Por esta razão (ponderosa, com certeza), esta dissertação situa-se ao nível de uma singela “contribuição”.

- A área cartografada pode dividir-se em duas grandes zonas:

- a nascente da grande falha de Tomar-Coimbra-Porto ocorrem formações metassedimentares e eruptivas pertencentes ao domínio do **Maciço Hespérico**, com escassa aptidão aquífera, dando origem a aquíferos muito pobres, em geral livres, descontínuos, de produtividade muito baixa, sendo aquele meio tradicionalmente designado por *crystalino*. A ocorrência e circulação da água relacionam-se com as fracturas, superfícies de diaclasamento ou de xistosidade, quando a rocha se apresenta sã. Quando são importantes fenómenos de alteração, essas funções podem ter lugar entre os poros intergranulares resultantes dessa alteração. Frequentemente os dois tipos hidráulicos coexistem, havendo trocas entre fracturas e os poros intergranulares.

- a poente localiza-se a **Orla Mesoceno-zóica Ocidental**, onde existe grande espessura de sedimentos, de geomorfologia suave, com colinas calcárias e vales amplos, pouco profundos e com aluvionamento significativo. Existem em abundância os carbonatos, os arenitos e os argilitos e, na cobertura quaternária ou plio-quaternária, os materiais arenosos desagregados que propiciam fácil infiltração da água das chuvas.

As rochas carbonatadas, como os calcários e as dolomites, apresentam grandes variações na produtividade hídrica. As com maiores potencialidades aquíferas são aquelas em que ocorrem, por dissolução - carsificação, porosidades secundárias elevadas, que no seu desenvolvimento final dão origem a regiões cársicas, com presença características de sumidouros, cavernas, grandes fontes e importante escoamento sub-superficial.

As características geológicas dos terrenos, constituem o principal factor que condiciona a possibilidade de armazenarem água e permitirem que ela circule no ambiente subterrâneo. Ou seja, a Geologia é o aspecto mais importante na consideração de unidades hidrogeológicas e na definição de formações aquíferas, boas ou pobres, aquíferos, aquíferos, etc.

A composição mineralógica das formações rochosas atravessadas pelas águas subterrâneas, o tempo e a distância de percurso, influenciam significativamente as propriedades hidroquímicas, com consequências directas na sua potabilidade e no funcionamento dos meios utilizados na sua extracção (através da ocorrência de fenómenos de corrosão, incrustação, entre outros).

O inventário hidrogeológico realizado, proporcionou alguns dados que foram interpretados neste trabalho.

Tendo em conta este enquadramento, sintetizamos os seguintes resultados principais desta dissertação:

- Na parte oriental, do ponto de vista hidrogeológico, na carta 19D ocorrem aquíferos muito pobres, em “rochas duras” do **Maciço Hespérico**. A produtividade das captações que exploram estas unidades é baixa a muito baixa, condicionada pela fracturação que possa ocorrer. Os histogramas elaborados com caudais específicos evidenciam esta baixa produtividade.

O esboço da superfície piezométrica indica divisórias de águas nas linhas de fecho e zonas de convergência nos vales. Esta configuração é típica de condições freáticas.

Os gradientes hidráulicos são altos, devido ao facto de serem formações de permeabilidade muito baixa. Não foram recolhidos dados referentes à qualidade.

- Na parte ocidental, a área cartografada nesta carta 19D, tem formações que pertencem aos seguintes sistemas aquíferos (classificação do Inag):

- **Aluviões do Mondego** – sistema aquífero muito produtivo, poroso, multicamada (lenticular) e livre a confinado/semiconfinado como resultado da variabilidade das condições texturais e estruturais no volume aluvionar.

O caudal específico segue uma distribuição espacial idêntica à do caudal: é influenciado pela variabilidade litológica e pela ligação hidráulica às linhas de água.

O nível freático está próximo da superfície do terreno, a apenas alguns metros de profundidade.

A classificação das águas, parece que a fácies varia com os sectores do sistema aquífero:

Na zona da Boavista os aniões cloreto e bicarbonato dominam, em regra, do mesmo modo que o sódio e o cálcio são os catiões mais abundantes.

Tendo em conta a dureza, as águas são todas brandas.

- **Condeixa-Alfarelos** – instalado em formações carbonatadas do Jurássico. As produtividades variam muito em função do grau de carsificação das formações. No âmbito deste trabalho, foram inventariados 29 furos pertencentes a este sistema aquífero, com caudais entre 20 L/s e 1,1 L/s.

Só foi obtida uma análise química, tendo as características da água analisada correspondido às esperadas para este sistema aquífero: fácies bicarbonatada-cálcica, pH acima de 7, mineralização média. Quanto à dureza, esta água é considerada dura.

- **Penela Tomar** – constituído por dolomitos, calcários compactos, calcários dolomíticos também compactos com algumas intercalações margosas), do Liásico.

Dos 30 furos inventariados, os caudais variam entre 8 L/s e 0,4 L/s.

Não foi conseguida qualquer análise química.

7.2 – Recomendações

Como recomendações mínimas, sugere-se:

- A realização de estudos que contemplem a simulação hidrológica quantitativa e qualitativa observando, permitindo assim a elaboração futura de um modelo conceptual de Circulação das águas da região.
- A obrigatoriedade de realização de ensaios nas captações a construir e em algumas das já construídas, de forma a poder caracterizar-se hidraulicamente as formações ocorrentes.
- A obrigatoriedade de inclusão nos relatórios finais da construção de captações de análises físico-químicas e microbiológicas para assim se obter mais informação sobre a qualidade das águas subterrâneas desta carta.

Contributo para o estudo hidrogeológico da carta 19-D Coimbra - Lousã

Anexo 1: Inventário dos Furos.

I

Nº	Carta Militar	UTM - Datum WGS84		Gauss - Datum Lisboa		Aquíferos	Cota	Local	Tipo Perfuração	Prof.	Diâmetro	Caudal	NHE	NHD	Alt. Bomba	Litologia
		M	P	X	Y											
1/241	241	541994	4442896	168130	351930	Condeixa – Alf.	46	Avenal – Condeixa-a-Nova	Rotary CD.	118.00	200	20.00	20	25	113	Argl.;ArF;Argl.;Ar.G
2/241	241	550378	4450365	176590	359320	Alv. Mondego	47	Estádio M - Coimbra	Rototp.CD	110.00	200	4.00	20	35	100	X. Claros;X. Escuros
3/241	241	556370	4446945	182551	355840	M. Antg. Indef.	222	V. Colmeias – Miranda C.	Rototp.CD	110.00	200	4.00	20	35	100	X. Claros;X. Escuros
4/241	241	547176	4446615	173350	355600	M. Antg. Indef.	155	Vila Nova de Ceira	Rototp.CD	60.00	200	2.00	10	40	50	Argl;GrésArgilCalh;X.Esc.
5/241	241	546531	4446149	172700	355140	Penela - Tomar	125	Rabaçal - Penela	Rototp.CD	120.00	200	1.50	20	80	115	Cal;Cal.Aml;Cal.;Cal.Aml
6/241	241	550104	4444705	176260	353660	M. Antg. Indef.	185	Podentes - Penela	Rototp.CD	53.00	200	5.00	10	20	45	Argl;Saibro;Calc.
7/241	241	546192	4450104	172400	359100	Condeixa – Alf.	55	Almalaguês - Coimbra	Rototp.CD	80.00	200	1.60	30	60	75	Cal.;Argl
8/241	241	547471	4450117	173680	359100	Condeixa – Alf.	110	Fríumes - Penacova	Rototp.CD	100.00	200	1.50	10	40	90	Xisto
9/241	241	548082	4445924	174250	354900	Penela - Tomar	168	Areeiro - A. - Cernache.	Rototp.CD	70.00	200	2.00	10	40	65	Calcário
10/241	241	546710	4446211	172880	355200	Penela - Tomar	141	Palheira - A. - Cernache	Rototp.CD	85.00	200	2.00	10	40	80	Calcário
11/241	241	547010	4446194	173180	355180	Penela - Tomar	168	Palheira - A. - Cernache	Rototp.CD	82.00	200	3.00	5	30	77	Calcário
12/241	241	543623	4442982	169760	352000	Condeixa – Alf.	60	V. Pouca - Cernache	Rotary CD	120.00	250	3.00	30	80	115	Argila;Areia;Arg;Areia
13/241	241	547704	4446780	173880	355760	Penela - Tomar	86	Carvalhais B. - Coimbra	Rototp.CD	110.00	200	3.00	20	50	105	Calcário
14/241	241	547049	4446254	173220	355240	Penela - Tomar	176	Palheira - A. - Cernache	Rototp.CD	80.00	200	1.10	20	50	125	Calcário
15/241	241	546553	4447979	172740	356970	Penela - Tomar	199	Fontainhas - Antanhol	Rototp.CD	80.00	200	0.70	50	60	75	Saibro;Calcário
16/241	241	544858	4448512	171050	357520	Condeixa – Alf.	145	Esp.S.Touregas - Coimbra	Rototp.CD	100.00	200	0.50	20	80	95	Saibro;Cascalho;Areia
17/241	241	550689	4446130	176860	355080	Alv. Mondego	90	Castelo V - Coimba	Rototp.CD	100.00	200	1.50	10	40	95	Arenitos Vermelhos
18/241	241	545550	4450358	171760	359360	Cond. - Alfarelos	75	S. M.Bispo - Coimbra	Rototp.CD	100.00	200	1.50	20	50	95	Saib;AreiaGrossa;Saib
19/241	241	555837	4445150	182000	354050	M. Antg. Indef.	360	A. - Podentes - Penela	Rototp.CD	130.00	200	0.80	15	60	120	Arenit.Vermelhos
20/241	241	543844	4449982	170050	359000	Condeixa – Alf.	68	S. M. Bispo - Coimbra	Rototp.CD	80.00	200					SRoliço;Argl.e SMiudo
21/241	241	543296	4442589	169430	351610	Condeixa – Alf.	46	V. Pouca - Cernache	Rototp.CD	110.00	200					Arg.,Seixo
22/241	241	549964	4446673	176140	355630	Alv. Mondego	168	Marco P. - Coimbra	Rototp.CD	50.00	200					Cal.Arenitos
23/241	241	548025	4446624	174200	355600	Penela - Tomar	194	Carvalhais - A. - Coimbra	Rototp.CD	60.00	200					Xisto
24/241	241	545085	4442676	171220	351680	Condeixa – Alf.	105	Vila Nova - Cernache	Rototp.CD	46.00	200					Arg.;Cal.
25/241	241	545761	4446181	171930	355180	Condeixa – Alf.	91	Antanhol - Coimbra	Rototp.CD	40.00	200					Arg.;Cal.
26/241	241	554793	4445590	180960	354500	M. Antg. Indef.	306	Vendas Serra – Miranda C.	Rototp.CD	50.00	200					Xisto
27/241	241	551328	4443003	177468	351946	M. Antg. Indef.	180	Bairro Lapas - Coimbra	Rototp.CD	50.00	200					Calcário
28/241	241	545489	4449334	171689	358336	Condeixa – Alf.	131	S. M. Bispo - Coimbra	Rototp.CD	100.00	200					Areia
29/241	241	548298	4446490	174471	355464	Penela - Tomar	198		Rototp.CD	150.00	250	1.11	15	35	130	Calcário
30/241	241	557300	4447454	183486	356340	M. Antg. Indef.	90	Braços - S, - Miranda C.	Rototp.CD	50.00	200	1.11	5	20	16	Xistos
31/241	241	544875	4442684	171010	351690	Condeixa – Alf.	101	Casconha - Cernache	Rototp.CD	80.00	250	1.11	15	35	44	
32/241	241	549498	4448807	175694	357770	Alv. Mondego	78	Stº A Olivais - Coimbra	Rototp.CD	90.00	200	1.38	20	75	85	Arenitos
33/241	241	554657	4445727	180825	354638	M. Antg. Indef.	268	Castanheira - Miranda C.	Rototp.CD	100.00	150	0.41	35		94	Xisto mt. Alterado;Xisto
34/241	241	550256	4444262	176408	353216	Penela - Tomar	180	Portel G. -Almalaguês	Rototp.CD	91.00	150	2.22	20	75	82	Cal.Dolom.;Cal..Marg.
35/241	241	545241	4442821	171377	351823	Condeixa – Alf.	112	Chás - Cernache	Rototp.CD	82.00	175	2.50	5	60	72	Cal.Dolom.;Calcário
36/241	241	545595	4442547	171729	351546	Condeixa – Alf.	126	Moita Santa - Cernache	Rototp.CD	82.00	175	2.77	9	65	73	Cal. Dol.;Calc.
37/241	241	545579	4442494	171712	351493	Condeixa – Alf.	123	Moita Santa - Cernache	Rototp.CD	85.00	175	2.22	9	65	75	Cal. Dol.;Calc.
38/241	241	557431	4450834	183650	359720	M. Antg. Indef	402	Carvalho - Ceira	Rototp.CD	110.00	175	0.80	30	70	85	X. Amarelo;X.Negro
39/241	241	557988	4450740	184206	359620	M. Antg. Indef	371	Carvalho - Ceira	Rototp.CD	136.00	175	1.38	30	90	100	Xisto Cinzento
40/241	241	545653	4442438	171786	351436	Condeixa – Alf.	123	Cernache	Rototp.CD							
41/241	241	545878	4449970	172085	358969	Condeixa – Alf.	87	Covões - Coimbra	Rototp.CD	87.00	175	0.55	20	130	140	ArSolta;Cal.Marg;Ar
42/241	241	545706	4442438	171839	351436	Condeixa – Alf.	119	Vila Nova - Cernache	Rototp.CD	50.00	175	2.20	10	20	25	Arg;Calcário
43/241	241	542136	4445706	168300	354740	Condeixa – Alf.	85	Taveiro - Coimbra	Rotary CD	163.00	200	1.39	80	100	132	Sb;Argl Verm;ArF;Calc.
44/241	241	548905	4443603	175050	352570	Penela - Tomar	231	Abrunheira - A. - Cernache	Rototp.CD	120.00	200	8.00	60		85	Marg;CalcAcinz.
46/241	241	549134	4445685	175300	354650	Penela - Tomar	210	M. Pereiros - Coimbra	Rototp.CD	120.00	200	3.33			90	Calcários
47/241	241	550378	4450365	176590	359320	Alv. Mondego	44	Coimbra	Rototp.CD	138.00	250;140	8.00	40	60	133	ArCalhau;Arg;Ar;Arent
48/241	241	547747	4444402	173900	353380	Penela - Tomar	106	V Cântaro - A. - Coimbra	Rototp.CD	146.00	200	0.75	22	51	120	Calcários e argilas

Contributo para o estudo hidrogeológico da carta 19-D Coimbra - Lousã

II

51/241	241	550248	4444246	176400	353200	M. Antg. Indef	180	Portela G - Almg. Cimbra	Rototp.CD	70.00	200	2.75	30	60	62	CalcMarg;Calc.
52/241	241	543230	4446317	169400	355340	Condeixa – Alf.	101	Antanhol - Coimbra	Rotary CD	100.00	310	2.36	17	40		AreãoArgi;Arg;ArG;Argl
53/241	241	549677	4441302	175800	350260	M. Antg. Indef	250	Murteira - Cond.Nova	Rototp.CD	80.00	200	2,6				Areia Fargilosa;Calcário
54/241	241	548518	4445709	174680	354280	Penela - Tomar	165	Assafarge - Cernache	Rotopercussão	58.00	200	2.80	12	45	50	Calcário e argila
55/241	241	549655	4448639	175850	357600	Alv. Mondego	42	Coimbra	Rotopercussão	90.00	200	1.66				ArentAverm;xisto
56/241	241	543589	4444381	169740	353400	Condeixa – Alf.	58	Vila Pouca - Cernache	Rotary CD	100.00	180	2.77	22	42		
58/241	241	547724	4446771	173900	355750	Penela - Tomar	168	Carvalhais – A.- Coimbra	Rotopercussão	100.00	200	1.00	70	85	90	Calcários c Argl
59/241	241	549947	4444443	176100	353400	Penela - Tomar	195	Portela G - Almg. - Coimbra	Rotopercussão	79.00	200	3.50	30	64		Calcários e argilas
60/241	241	550166	4443386	176310	352340	Penela - Tomar	185	Volta M - Almg. - Coimbra	Rotopercussão	64.00	200	3.00	24	50	50	Argilas e Calcários
61/241	241	547516	4447568	173700	356550	Penela - Tomar	147	Assafarge - Cernache	Rotopercussão	100.00	200	1.00	70	85	90	Calcários c Argl
62/241	241	549204	4445705	175370	354670	Penela - Tomar	216	Marco P - Cernache	Rotopercussão			1.39			75	
63/241	241	549154	4445755	175320	354720	Penela - Tomar	214	Marco P - Cernache	Rotopercussão	117.00	200	2.50			95	Calcários
64/241	241	547293	4449965	173500	358950	Condeixa – Alf.	98	St. Clara - Coimbra	Rotopercussão	124.00	200	1.60	11		100	Calcário;Marga;Grés
65/241	241	550736	4443401	176880	352350	M. Antg. Indef	145	Almalaguês - Coimbra	Rotopercussão	70.00	200	1.40	30	43	60	Calcários e argilas
66/241	241	548274	4441628	174400	350600	Penela - Tomar	180	Assafarge - Cernache	Rotopercussão	58.00	200	1.90	16	31	50	Calcários e argilas
67/241	241	549362	4446897	175540	355860	Alv. Mondego	90	Castelo Viegas - Coimbra	Rotopercussão	94.00	200	1.00	43	85		Grés;Argilas e Calcários
68/241	241	543751	4450331	169960	359350	Condeixa – Alf.	25	Ribeira Frades - Coimbra	Rotary CD	80.00	200	3.00	8.5	13	40	Areia;Grés;Argila
69/241	241	550421	4445997	176590	354950	Alv. Mondego	90	Castelo Viegas - Coimbra	Rotary CD	135.00	8,8pol	1.50	50		100	MgVerm;GrAcinz;Mg;Gr
71/241	241	551904	4441533	178030	350470	M. Antg. Indef	230	Anaguéis - Almg - Coimbra	Rotopercussão	94.00	200	0.90	75	88		Arenitos
72/241	241	552111	4443894	178260	352830	M. Antg. Indef	155	Almalaguês - Coimbra	Rotopercussão	55.00	200	1.00	31	49		Arenitos
73/241	241	549864	4444702	176020	353660	M. Antg. Indef	170	Castelo Viegas - Coimbra	Rotopercussão	67.00	200	1.00	25	48		Argilas e Calcários
75/241	241	556514	4447506	182700	356400	M. Antg. Indef	265	V Colmeias - S.- Miranda C.	Rotopercussão	165.00	200	3.50	40	158		Xisto e Quartzo
76/241	241	555809	4448059	182000	356960	M. Antg. Indef	110	Canas - S - Miranda C.	Rotopercussão	102.00	200	0.50	38	92		Xisto e Quartzo
77/241	241	548763	4445831	174930	354800	Penela - Tomar	180	Assafarge - Coimbra	Rotopercussão	85.00	200	5.50	30	79		Margas;Calcários;Argilas
78/241	241	556548	4448086	182740	356980	M. Antg. Indef	265	V Colmeias - S - Miranda C.	Rotopercussão	106.00	200	0.25	50	97		Xisto e Quartzo
79/241	241	556639	4446948	182820	355840	M. Antg. Indef	235	V Colmeias - S - Miranda C.	Rotopercussão	107.00	200	0.70	24	105		Xisto e Quartzo
81/241	241	543134	4442877	169270	351900	Condeixa – Alf.	66	Vila Pouca - Cernache	Rotary CD	47.00	230	0.83	12	17		GrésArgiloso;Argilas;Grés
83/241	241	546158	4449444	172360	358440	Condeixa – Alf.	90		Perc.M;Rotary	166.00	470;9 7/8"	0.60	55.9	96	115	Grés;Argila
84/241	241	545717	4449580	171920	358580	Condeixa – Alf.	100		Percussão M.	156.00	14 3/4";12 1/4"					Grés;Argila
85/241	241	547307	4447476	173490	356460	Penela - Tomar	160	Algar	Rotary;Perc.M	150.00	368	2.00	63.15	65.67	80.5	Argl;Margas;Calcários
86/241	241	543467	4450758	169680	359780	Condeixa – Alf.	15	C M Coimbra	Perc.M;Rotary	94.00	470	15.00	2.7	5.35	14*	Argl;ArcSeix;Grés e Marg.
87/241	241	542005	4445875	168170	354910	Condeixa – Alf.	92	C M Coimbra	Rotary CD	100.00		1.00	70	80.5	83.5	Argila;Margas;Grés
88/241	241	549194	4448774	175390	357740	Alv. Mondego	22	C M Coimbra	Percussão M.	24.10	700;490	50.00	2.78	4.21		Ar;Grés
89/241	241	549215	4448695	175410	357660	Alv. Mondego	22	C M Coimbra	Percussão M	24.00	700;491	50.00	3.35	4.52		Ar;Grés
93/241	241	548125	4449780	174330	358756	Alv. Mondego		Boavista - Coimbra		23.20	1000;801	44.50	1.65	8.62		Ar e Sx c calhaus;Gr
94/241	241	548110	4449500	174313	358477	Alv. Mondego		Boavista - Coimbra		20.60	1000;800	25.20	2.85	7.7		AreiaAm.;Argl;Gr
95/241	241	548320	4449625	174524	358600	Alv. Mondego		Boavista - Coimbra		32.00	1000;800	22.30	1.25	8.33		Areia;Grés;Argila
96/241	241	547968	4449750	174173	358728	Alv. Mondego		Boavista - Coimbra		19.25	1000	50.00	3.66	6.5		ArF;Ar e Sxcalhaus;Gr
97/241	241	549098	4448946	175296	357913	Alv. Mondego		Boavista - Coimbra		16.85	1000	40.00		5.5		Areia e Seixo c calhaus
98/241	241	553673	4447943	179862	356865	Alv. Mondego				14.00	420	44.00	2.65	5.85		ArG;AreãoSolto;Silt;Argl;X
99/241	241	553684	4447966	179874	356888	Alv. Mondego				15.30	420	44.00	3.00	6.58		ArG;Xisto
111/241	241	551219	4442026	177350	350970	M. Antg. Indef	165	Moinho V - Almalaguês	Rotopercussão	106.00		0,55	50	97		Argl e Calcárias
114/241	241	548962	4447982	175150	356950	M. Antg. Indef	50	Stª. Clara – Coimbra	Rotopercussão	94.00	200	1.70	50	82		Grés
115/241	241	548966	4447533	175150	356500	Alv. Mondego	50	Stª. Clara - Coimbra	Rotopercussão	94.00	200	1.70	50	82		Grés Avermelhado
116/241	241	549864	4442643	176000	351600	M. Antg. Indef	240	Castelo Viegas - Coimbra	Rotopercussão	64.00	200	1.60	22	48		Calcários e argilas
118/241	241	545331	4444118	171480	353120	Condeixa – Alf.	98	Cernache - Coimbra	Rotary CD	147.00		*****	2.3+	0.3+	35 e 40	Gr;Argl;Calc.;MgintCalc
124/241	241	545942	4442357	172074	351352	Condeixa – Alf.	127	Cernache	Rotopercussão	70	175	2,5	15	60	50	Calcário
1/242	242	564038	4444841	190200	353660	M. Antg. Indef	97	Casal E.S. - Lousã	Rotopercussão	75.00	200	10.00	14	25	70	Argcalhau;X.Escuros
2/242	242	569148	4443571	195300	352340	M. Antg. Indef	185	Qtª Rosas - Serpins	Rotopercussão	200.00	200	3.00	16	30	195	Argl;Sb.;Argl;Sb.;X.Esc.
3/242	242	568474	4447123	194660	355900	M. Antg. Indef	191	Silvares - Serpins - Lousã	Rotopercussão	100.00	200	5.00	25	62	95	Argcalhau;X.Escuros
4/242	242	568225	4445991	194400	354770	M. Antg. Indef	152	Tojal - Serpins	Rotopercussão	102.00	200	2.00	15	50	95	Argcalhau;X.Escuros

Contributo para o estudo hidrogeológico da carta 19-D Coimbra - Lousã

III

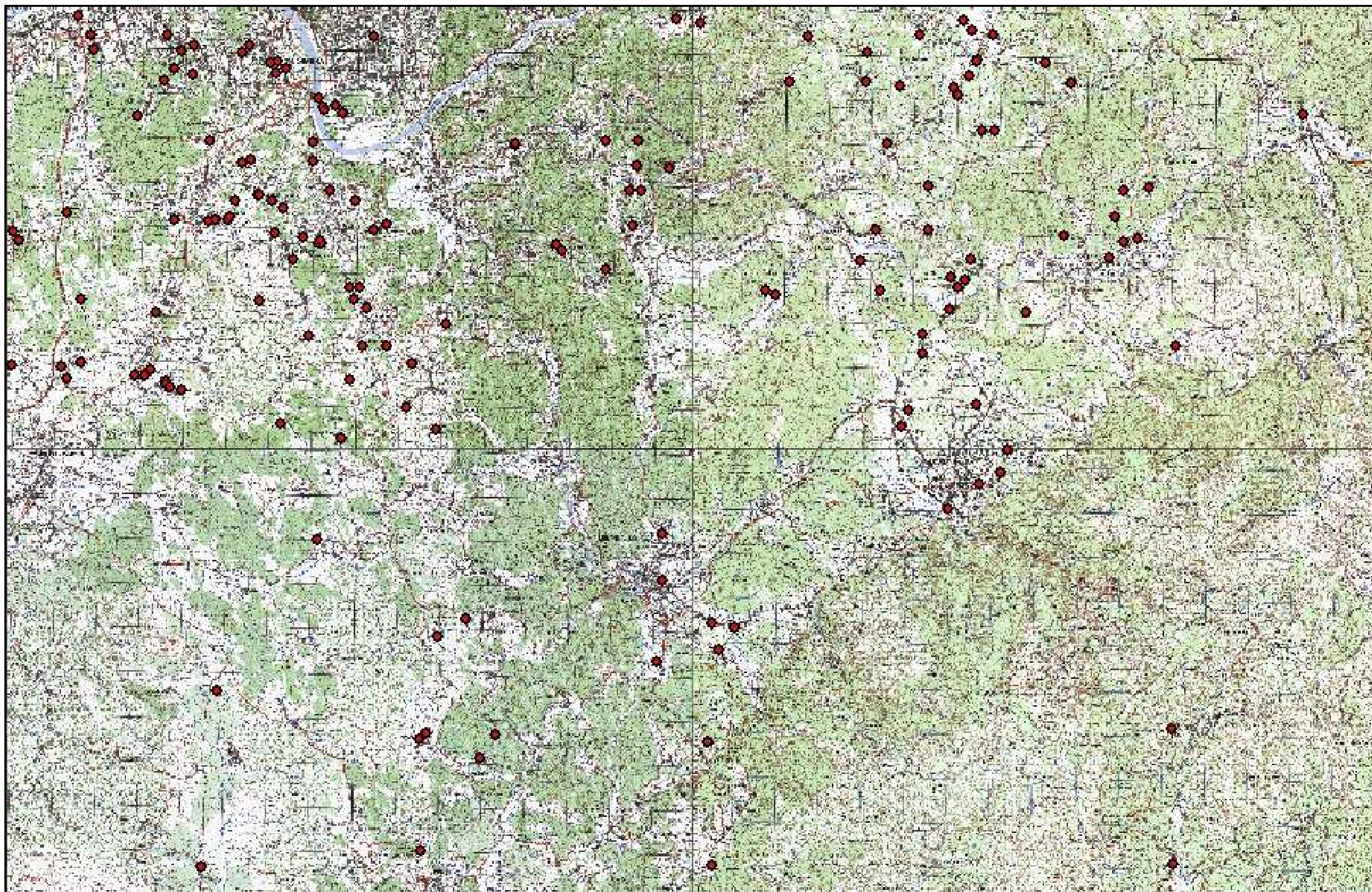
5/242	242	567580	4445535	193750	354320	M. Antg. Indef	122	Rascoias - Serpins	Rotopercussão	72.00	200	7.00	17	25	67	Argcalhau;X.Escuros
6/242	242	567876	4445918	194050	354700	M. Antg. Indef	164	Campos - Serpins	Rotopercussão	90.00	200	2.00	20	45	85	Xistos; Xistos Esc
8/242	242	562106	4446121	188280	354960	M. Antg. Indef	115	Videira - Lousã	Rotopercussão	70.00	200	7.00	3	20	65	Argcalhau;X.Escuros
10/242	242	564129	4450860	190350	359680	M. Antg. Indef	141	Vale Moinho - V.N.P.	Rotopercussão	140.00	200	3.00	30	80	135	X. Claros;X. Escuros
11/242	242	565916	4126388	189060	350900	M. Antg. Indef	105	Fontainhas - Lousã	Rotopercussão	100.00	200	5.00	30	40	90	Argcalhau;X.Escuros
12/242	242	559790	4444689	185950	353500	M. Antg. Indef	192	Gaiate - Semide - M.C.	Rotopercussão	90.00	200	10.00	0	5	76	Argl;Sb;ArglCalhau
13/242	242	572046	4448808	198250	357550	M. Antg. Indef	169	Stº André - V.N.P.	Rotopercussão	70.00	200	1.50	10	50	65	Xisto
14/242	242	562347	4448063	188540	356900	M. Antg. Indef	110	Foz Arouce - Lousã	Rotopercussão	50.00	200	1.50	15	20	45	Xisto
15/242	242	562229	4444763	188390	353600	M. Antg. Indef	98	Cumieira - Penela	Rotopercussão	80	200	1,0	10	50	75	Cal.;Argl
16/242	242	564271	4449612	190480	358430	M. Antg. Indef	150	Rabaçal - Penela	Rotopercussão	110	200	3,0	30	60	105	Calcário
17/242	242	564331	4450642	190550	359460	M. Antg. Indef	142	Stº André - V.N.P.	Rotopercussão	150.00	200	1.50	20	80	140	Saibro;Xisto
18/242	242	566642	4449455	192850	358250	M. Antg. Indef	200	Brasfemes - Coimbra	Rotopercussão	80.00	200	3.00	10	40	70	Arenitos
20/242	242	564676	4444737	185710	353600	M. Antg. Indef	125	Semide – Miranda Corvo	Rotopercussão	60	200	2,0	15	20	55	Cascalho;Xisto
21/242	242	559550	4444291	191800	353100	M. Antg. Indef	128	Casal Esp. Santo - Lousã	Rotopercussão	170.00	200	3.50	30	100	165	Cascalho, Saibro,Ar., X
22/242	242	564493	4442226	190630	351040	M. Antg. Indef	118	Lousã	Rotary /Rotop.	174.00	250;200	4.50	30	100	165	Areia;Xisto
23/242	242	561753	4445408	187920	354250	M. Antg. Indef	145	Foz A. - Lousã	Rotopercussão	58.00	200	2.20	0	10	20	Xisto
24/242	242	564583	4448385	190780	357200	M. Antg. Indef	72	Vale Vaíde - V.N.P.	Rotopercussão	100.00	200	1.50	20	70	90	Saibro;Xistos
25/242	242	563228	4443773	189380	352600	M. Antg. Indef	150	Póvoa da Lousã	Rotopercussão	70.00	200	1.50	15	40	65	Cascalho;Xistos
27/242	242	567875	4447068	194060	355850	M. Antg. Indef	208	Serpins - Lousã	Rotopercussão	110.00	200					Xisto
28/242	242	566505	4446044	192680	354840	M. Antg. Indef	210	Rodas - Lousã	Rotopercussão	80.00	200					Xisto
29/242	242	563914	4449338	190120	358160	M. Antg. Indef	180	Vale de Vaz - V.N.P.	Rotopercussão	50.00	200					Xisto
30/242	242	564878	4448402	191075	357214	M. Antg. Indef	147	Vale Vaíle - V.N.P.	Rotopercussão	50.00	250;200	0.83	1	42	40	Arenitos, Xisto
31/242	242	562750	4441700	188881	350531	M. Antg. Indef	160	Gandâras - Lousã	Rotopercussão	50.00	250;200	2.08	15	44	40	Arenitos, Xisto
32/242	242	566027	4449915	192240	358716	M. Antg. Indef	189	Boiça - S.M.P - V.N.P	Rotopercussão	130.00	200	2.22	20	90	120	Xisto
33/242	242	563244	4443356	189392	352183	M. Antg. Indef	110	Póvoa - Lousã	Rotopercussão	151.00	150	2.70	6	130	145	Xisto
34/242	242	564433	4449940	190645	358757	M. Antg. Indef	162	Terra Bispo - V.N.P.	Rotopercussão	151.00	150	0.83	25	135	140	Xisto
36/242	242	567691	4446456	193870	355240	M. Antg. Indef	181	Serpins - Lousã		96.00	200	1.00	20	60	85	
37/242	242	560500	4450460	186716	359316	M. Antg. Indef		Algaça - V.N.P.	Rotopercussão	50.00	200	1.94				Xistos
38/242	242	563082	4450520	189300	359350	M. Antg. Indef	155	S André - V.N.P.	Rotopercussão	70	200	1.00	19	33	37	Xisto cinzento
39/242	242	562654	4449366	188860	358200	M. Antg. Indef	160	Abraveia - V.N.P.	Percussão M	53	200	4	8	33	50	X Cinz. Int. qzitos
40/242	242	564812	4450527	191030	359340	M. Antg. Indef	160	St André - V.N.P.	Percussão M	115	200	0,65	30	101	110	Saibro;Xisto
41/242	242	563875	4445079	190040	353900	M. Antg. Indef	97	Casal Ermio	Percussão M	78	200	1.3	30	72	75	Argila e Xistos
42/242	242	564196	4445002	190360	353820	M. Antg. Indef	94	Terça - C. Ermio	Percussão M	73	200	1.3	25	68	70	Argila e Xistos
43/242	242	563316	4447103	189500	355930	M. Antg. Indef	140	V. C. Marmeleiro	Percussão M	92	200	2	18	75	87	X Cinz. Int. qzitos
44/242	242	563995	4449179	190200	358000	M. Antg. Indef	131	Vale Vaz - V.N.P.	Percussão M	60	200	3.5	18	45		X Cinz. Int. qzitos
45/242	242	563325	4446123	189500	354950	M. Antg. Indef	182	V Sancho - C.Ermio	Percussão M	65	200	3.5	6	30	60	X Cinz. Int. qzitos
46/242	242	560074	4449441	186280	358300	M. Antg. Indef	211	Vale Carvalhal - V.N.P.	Percussão M	60	200	3.6	9	40	53	X Cinz. Int. qzitos
47/242	242	564331	4445483	190500	354300	M. Antg. Indef	111	Casal Ermio	Rotopercussão	61	200	2.00	10	40	48	Xisto c Filões Qz
48/242	242	561853	4449458	188060	358300	M. Antg. Indef	184		Rotopercussão	65	200	1.1	8	33		Calcários Margosos
49/242	242	561085	4446191	182600	355040	M. Antg. Indef	69	Alçaperna - F. Arouce	Percussão M.	40	250	5.5	4	35		Congl; Xisto; Qz;Xisto
50/242	242	561887	4450098	188100	358940	M. Antg. Indef	171	Pinheiro - V.N.P.	Percussão M.	42	200	0.5	16	30	38	Grés Argiloso;Xisto
51/242	242	563848	4444338	190005	353159	M. Antg. Indef	93	Ceira dos Vales	Rotopercussão	80	200	2.5	10	65	70	Xisto
1/251	251	557199	4438816	183300	347070	M. Antg. Indef	120	Qta. Boavista - Miranda C.	Rotopercussão	120.00	200	10.00	5	15		Xisto;Areia
3/251	251	546512	4431634	172540	340620	Penela - Tomar	185	Assafarge - Cernache	Rotopercussão	82.00	200	11.00	15	25	75	Argl;Calcário
4/251	251	551562	4434562	177620	343500	M. Antg. Indef		Lamarosa - Coimbra	Rotary CD	100.00	200	2.50	20	60	90	Sb;Cal;SxG;Sb;SxG;Argl
6/251	251	551979	4436866	178060	345800	Penela - Tomar	196	Chão Lamas - M.C.	Rotopercussão	70.00	200	2.00	5	30	60	Calcário
7/251	251	553006	4434136	179060	343060	M. Antg. Indef	179	Sobreiro - Fg. Vinhos	Rotopercussão	50.00	180	1.10	10	30	45	Xisto
9/251	251	546834	4435596	172900	344580	Penela - Tomar	157	Póvoa - Podentes - Penela	Rotopercussão	140.00	200					Calcário
10/251	251	553337	4434674	179397	343594	M. Antg. Indef		Soito - Stº. A. - V.N.P.	Rotopercussão	136.00	200	1.25	30	90	130	Xisto
11/251	251	551721	4434704	177780	343640	Penela - Tomar	191	Podentes - Penela	Rotopercussão	30.00	200	1.30	10	21	27	Arenitos;Calcários
12/251	251	557102	4436355	183179	345239	M. Antg. Indef	108	Eirinhas – Miranda C.	Rotopercussão	80.00	200					Areia Fina

Contributo para o estudo hidrogeológico da carta 19-D Coimbra - Lousã

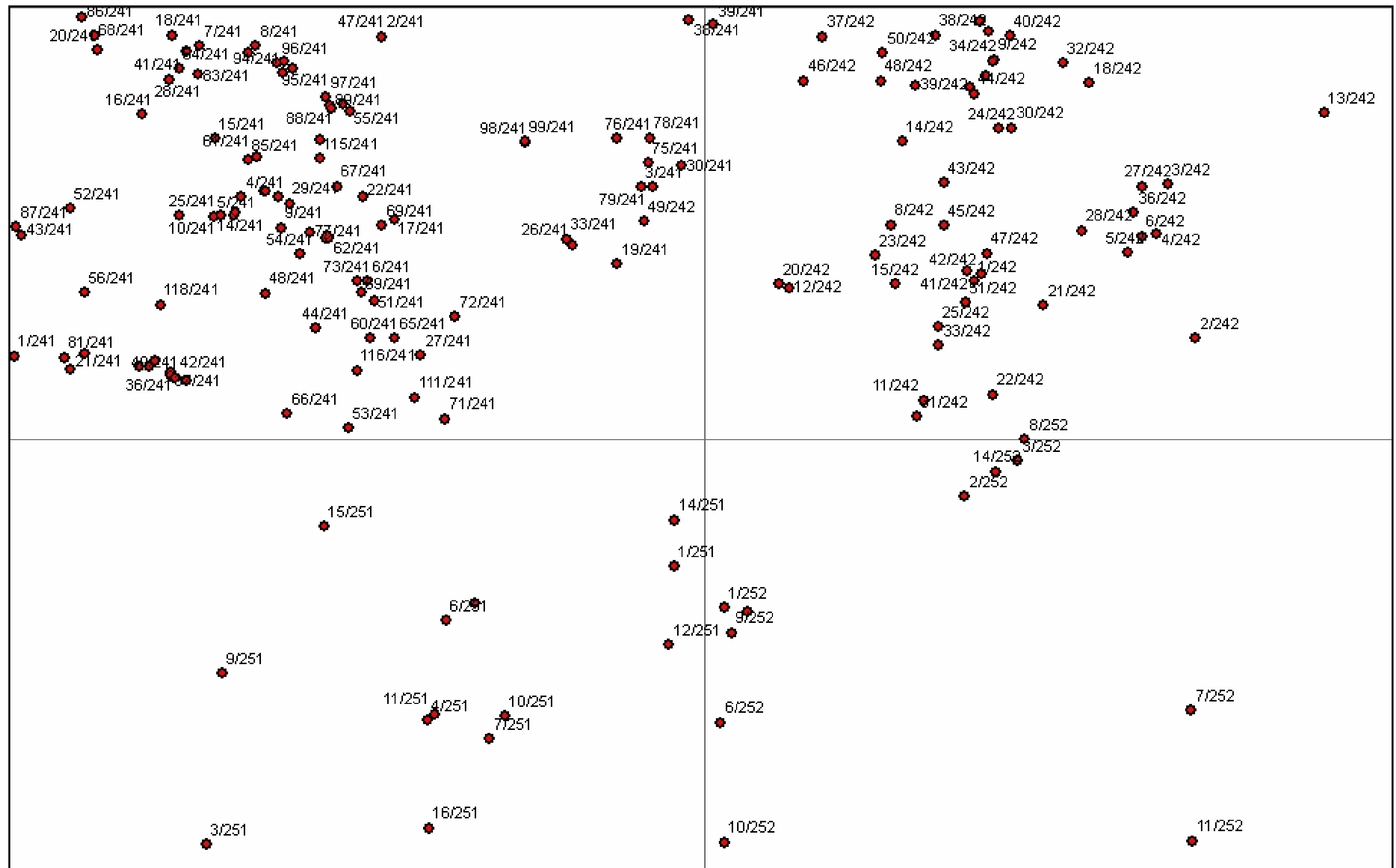
IV

13/251	251	552642	4437273	178727	346201	Penela - Tomar	202	Mata da Sé - L –Miranda C.	Rotopercussão	50.00	200					Arenitos
14/251	251	557217	4439254	183323	348138	M. Antg. Indef	158	Carapinhal – Miranda C.	Rotopercussão	70.00	200	1.66	15	45	38	Arg.; ArF;Arg. Arenosa
15/251	251	549148	4439017	175249	347980	Penela - Tomar	206	Bruscos – Condeixa .N.	Rotopercussão	106.00	175	2.77	25	75	95	Calcário
16/251	251	551615	4432073	177649	341009	Penela - Tomar	240	Vale Arinto- Penela	Rotopercussão	105.00	175	1.10	40	80	80	Calc.;Arenitos;Calc.
1/252	252	558364	4437228	184450	346100	M. Antg. Indef	139	Meãs – Miranda C.	Rotary CD	50.00	250	1.50	7	30	45	Areia
2/252	252	563866	4439851	189980	348670	M. Antg. Indef	155	Tapada da Cruz Ferro - L	Rotopercussão	110.00	200	0.50	20	90	105	Xisto
3/252	252	565078	4440692	191200	349500	M. Antg. Indef	236	Quinta .Alfocheira - L	Rotopercussão	80.00	200					Xisto
6/252	252	558310	4434578	184370	343450	M. Antg. Indef	231	Vale - M.C.	Rotopercussão	110.00	250,200	0.70	40	70	90	Arent; Granit
7/252	252	569133	4434959	195200	343726	M. Antg. Indef	680	Coentral - Cast. Pêra	Rotopercussão	75.00	200					Areia;Granito
8/252	252	565248	4441190	191375	349996	M. Antg. Indef	209	Qt. S. José - Lousã	Rotary / Rotop.	100.00	250;150	1.60	40	80	90	Areias;Xisto
9/252	252	558539	4436650	184620	345520	M. Antg. Indef	150	Pereira – Miranda C.	Rotary CD	100.00	200	1.66	22	80	90	Areias
10/252	252	558420	4434674	184453	340675	M. Antg. Indef	593	Espinhel - Penela	Rotopercussão	136.00	150	0.27	85	-----	130	Granito
11/252	252	569197	4431951	195235	340716	M. Antg. Indef	540	Castanheira de Pêra	Rotopercussão	61.00	175	0.75	5	40	55	X.Amarl, X.Neg.
13/252	252	558914	4437153	185000	346020	M. Antg. Indef	147	Pereira – Miranda C.	Rotary CD	75.00	200	1.50	6	15	30	Grés;Xisto
14/252	252	564580	4440437	190700	349250	M. Antg. Indef	191	Flor Rosa - Lousã	Rotary / Rotop.	127.00	200	1.30	50	105		Grés;Xisto

Anexo 2: Localização na Cartas Militares dos Furos Inventariados.

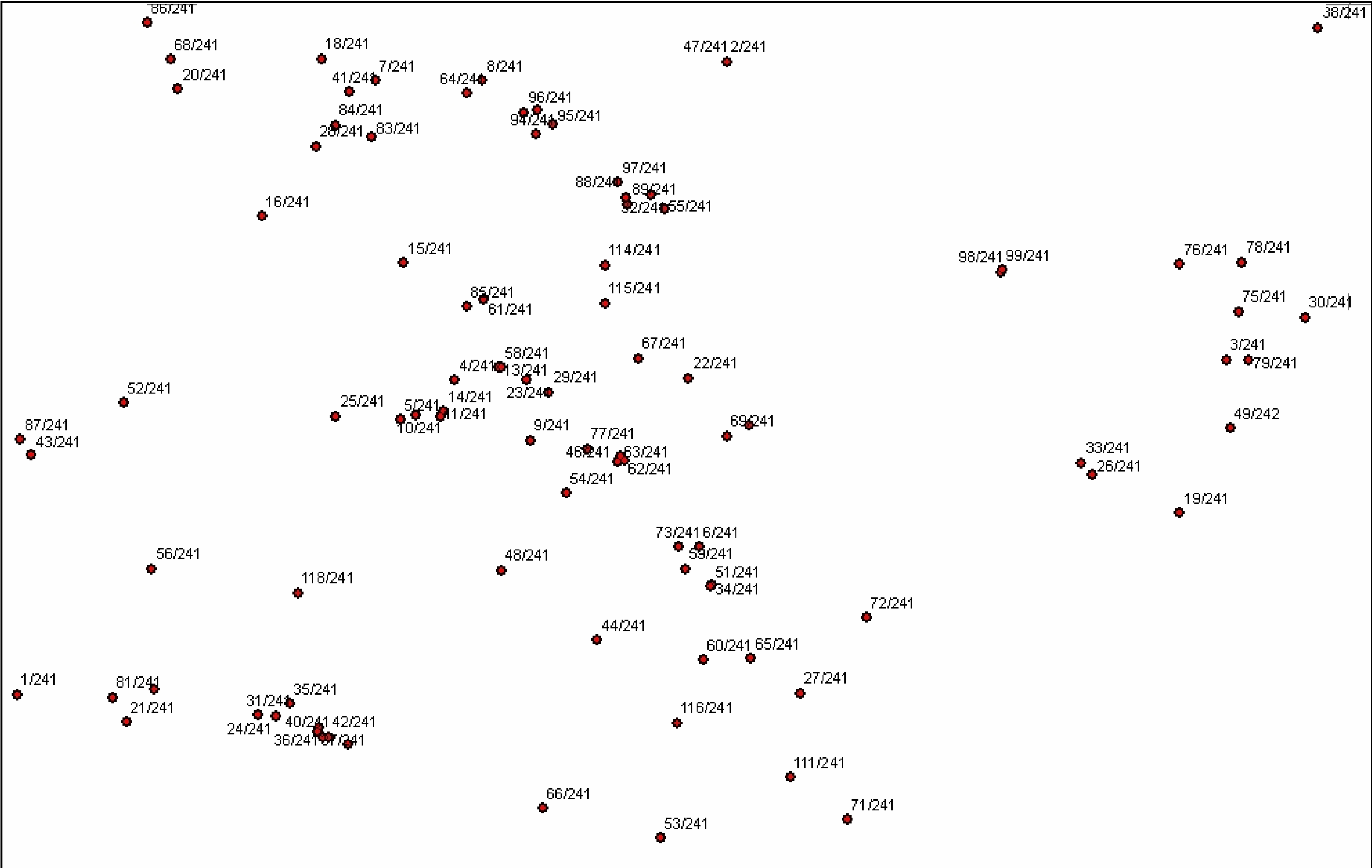


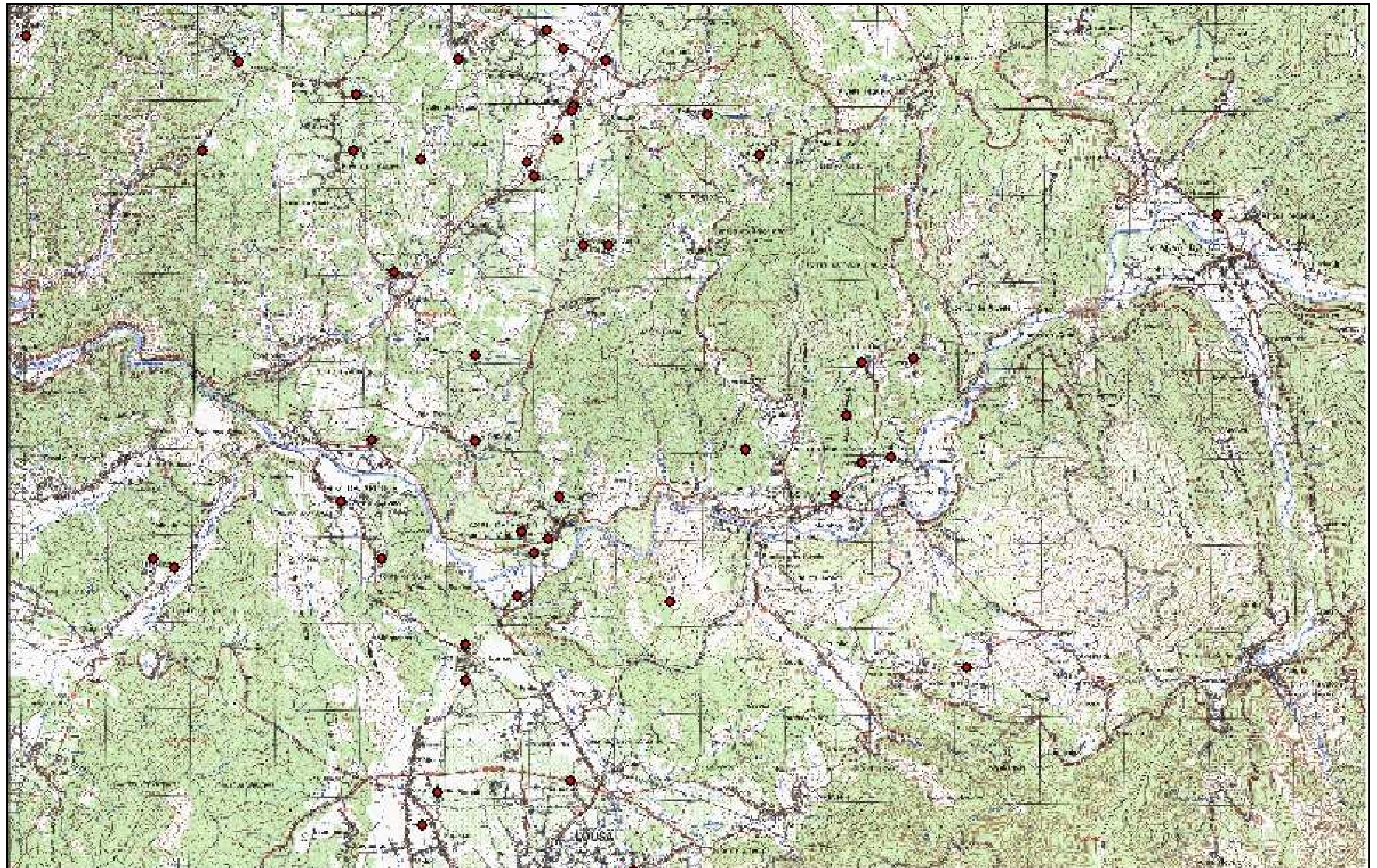
Anexo 3: Localização no Cartograma dos Furos Inventariados.



Anexo 4: Carta Militar nº 241.

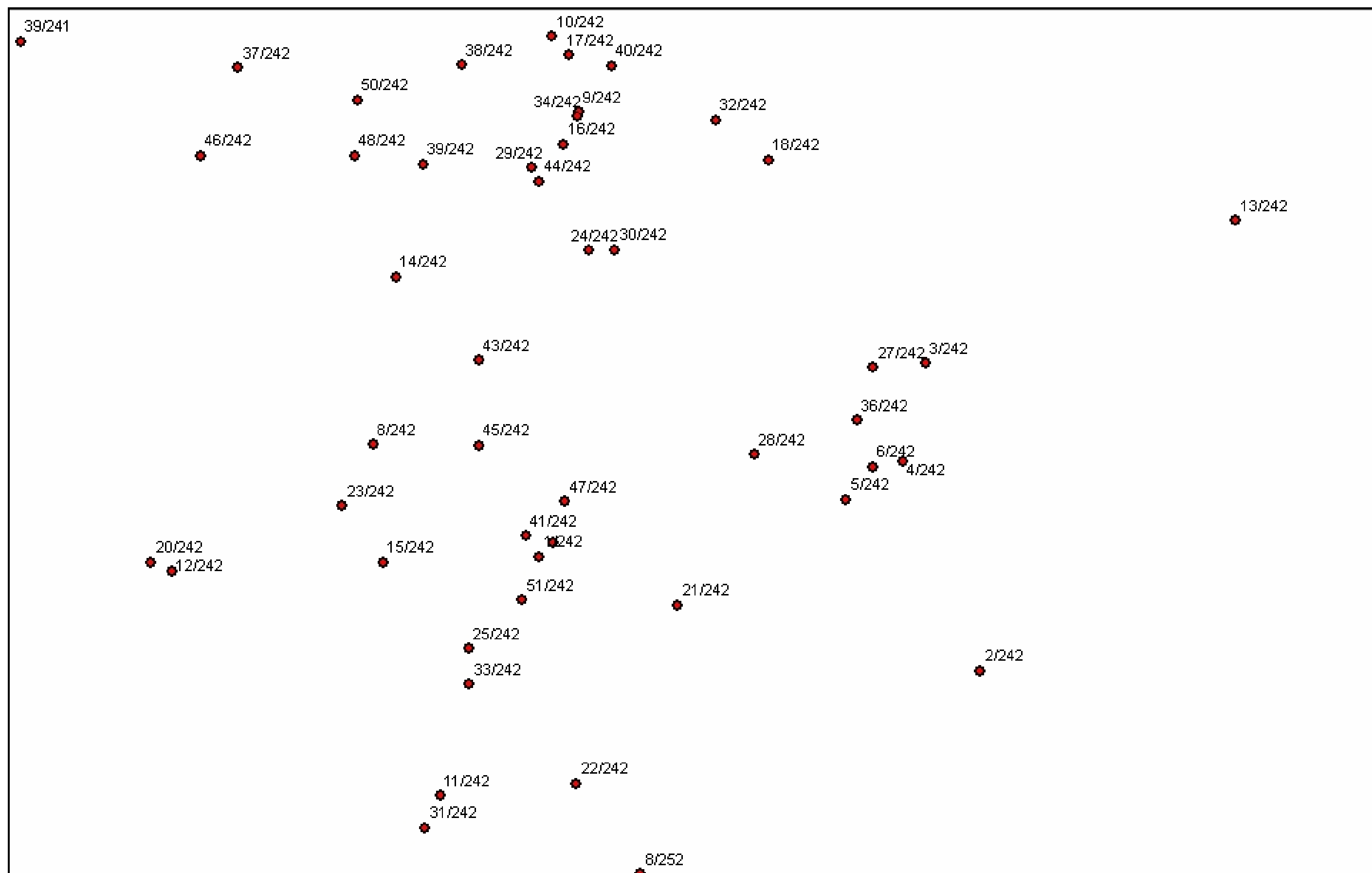






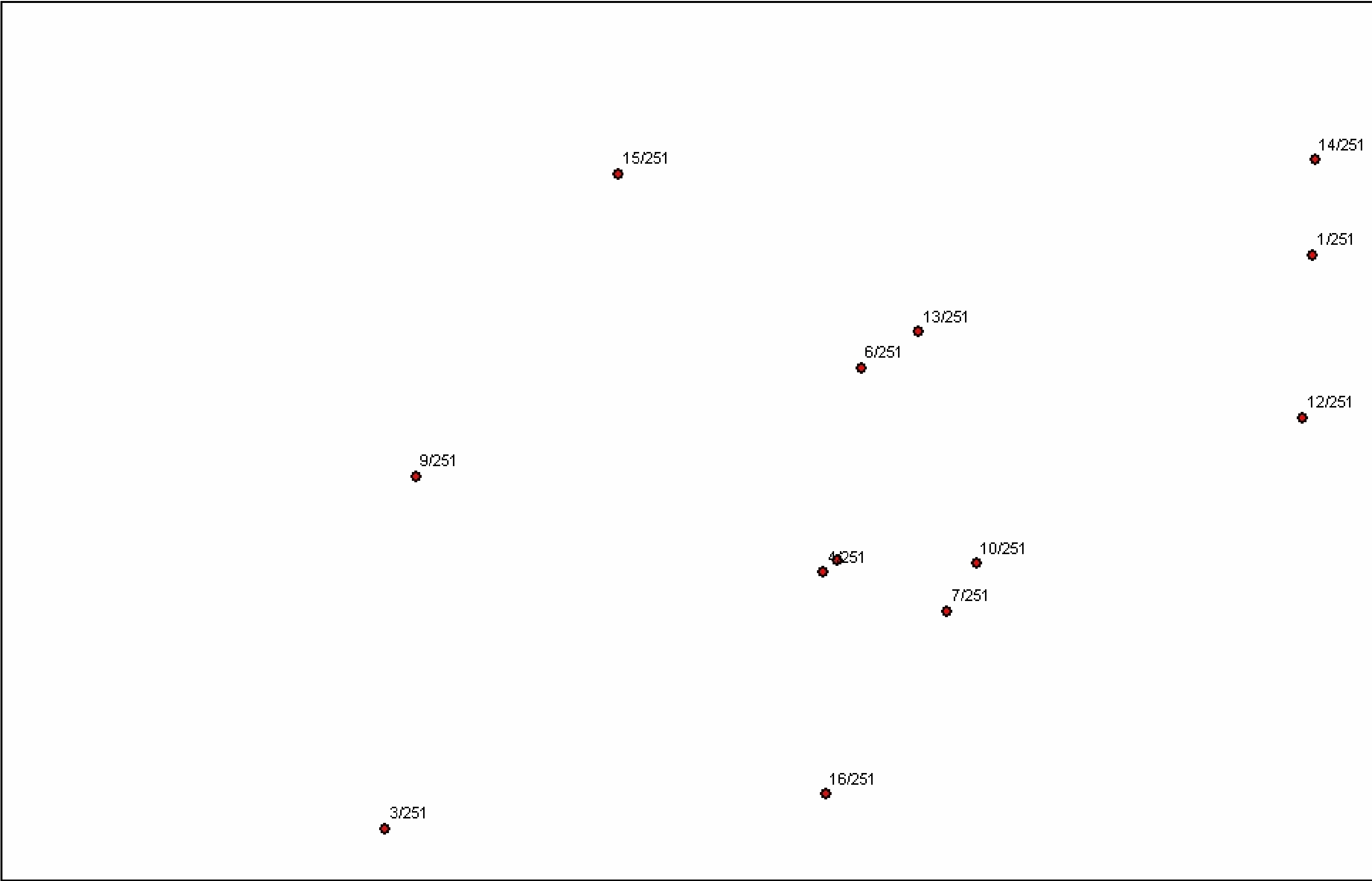
Anexo 7: Cartograma da Carta Militar nº 242.

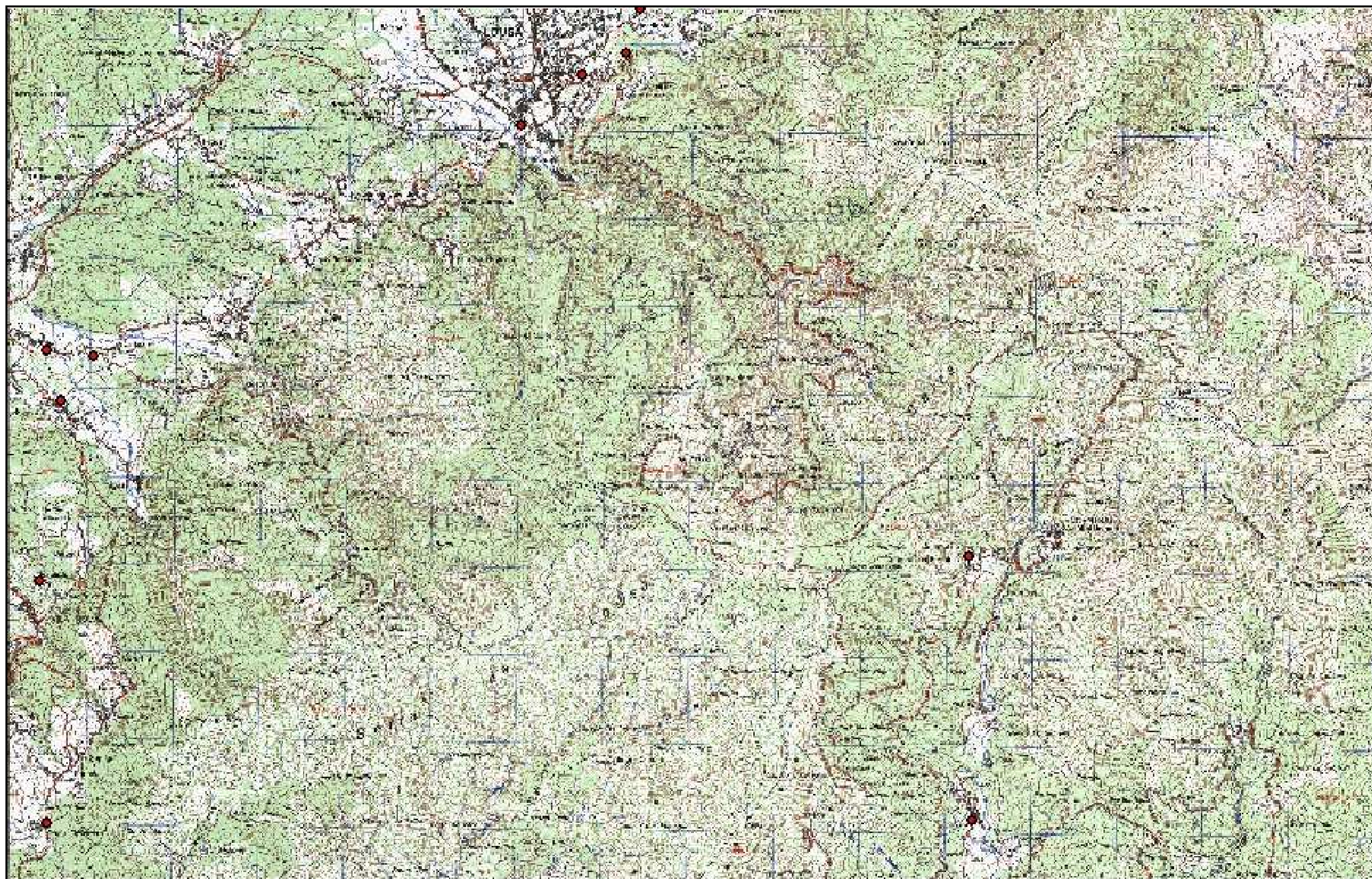
X



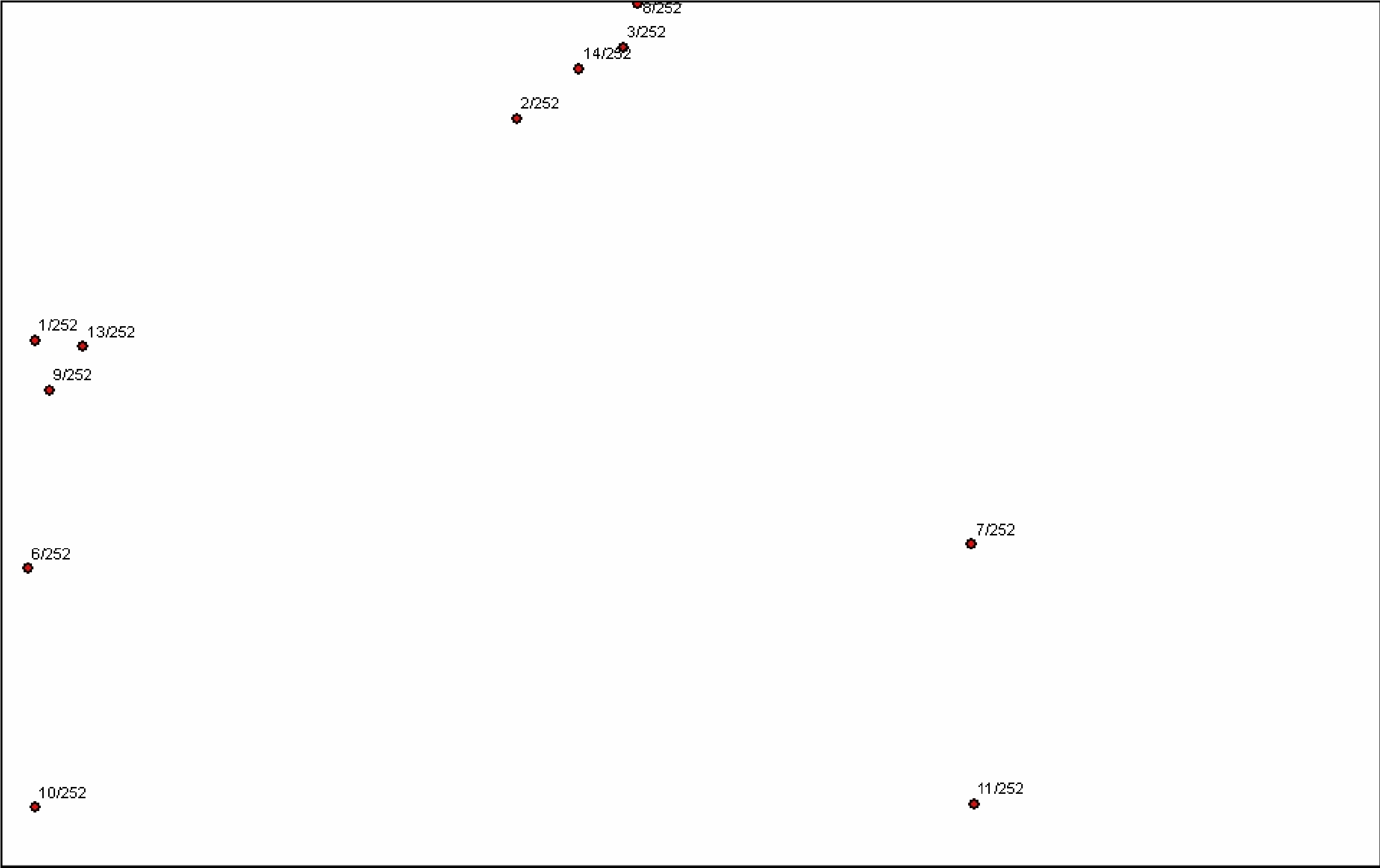
Anexo 8: Carta Militar nº 251.







Anexo 11: Cartograma da Carta Militar nº 252.



Anexo 12: Determinação das cotas da água dos furos.

Nº	Cota	NHE (m)	Cota Água
1/241	46	20	26
2/241	47	20	27
3/241	222	20	202
4/241	155	10	145
5/241	125	20	105
6/241	185	10	175
7/241	55	30	25
8/241	110	10	100
9/241	168	10	158
10/241	141	10	131
11/241	168	5	163
12/241	60	30	30
13/241	86	20	66
14/241	176	20	156
15/241	199	50	149
16/241	145	20	125
17/241	90	10	80
18/241	75	20	55
19/241	360	15	345
20/241	68		
21/241	46		
22/241	168		
23/241	194		
24/241	105		
25/241	91		
26/241	306		
27/241	180		
28/241	131		
29/241	198	15	183
30/241	90	5	85
31/241	101	15	86
32/241	78	20	58
33/241	268	35	233
34/241	180	20	160
35/241	112	5	107
36/241	126	9	117
37/241	123	9	114
38/241	402	30	372
39/241	371	30	341
40/241	123		
41/241	87	20	67
42/241	119	10	109
43/241	85	80	5
44/241	231	60	171
46/241	210		
47/241	44	40	4
48/241	106	22	84
51/241	180	30	150
52/241	101	17	84
53/241	250		
54/241	165	12	153
55/241	42		
56/241	58	22	36
58/241	168	70	98
59/241	195	30	165
60/241	185	24	161
61/241	147	70	77
62/241	216		
63/241	214		
64/241	98	11	87
65/241	145	30	115
66/241	180	16	164
67/241	90	43	47
68/241	25	8.5	16.5
69/241	90	50	40
71/241	230	75	155
72/241	155	31	124
73/241	170	25	145
75/241	265	40	225
76/241	110	38	72
77/241	180	30	150
78/241	265	50	215
79/241	235	24	211

Nº	Cota	NHE (m)	Cota Água
81/241	66	12	54
83/241	90	55.9	34.1
84/241	100		
85/241	160	63.15	96.85
86/241	15	2.7	12.3
87/241	92	70	22
88/241	22	2.78	19.22
89/241	22	3.35	18.65
93/241		1.65	
94/241		2.85	
95/241		1.25	
96/241		3.66	
97/241			
98/241		2.65	
99/241		3.00	
111/241	165	50	115
114/241	50	50	0
115/241	50	50	0
116/241	240	22	218
118/241	98	2.3+	121
124/241	127	15	112
1/242	97	14	83
2/242	185	16	169
3/242	191	25	166
4/242	152	15	137
5/242	122	17	105
6/242	164	20	144
8/242	115	3	112
10/242	141	30	111
11/242	105	30	75
12/242	192	0	192
13/242	169	10	159
14/242	110	15	95
15/242	98	10	88
16/242	150	30	120
17/242	142	20	122
18/242	200	10	190
20/242	125	15	110
21/242	128	30	98
22/242	118	30	88
23/242	145	0	145
24/242	72	20	52
25/242	150	15	135
27/242	208		
28/242	210		
29/242	180		
30/242	147	1	146
31/242	160	15	145
32/242	189	20	169
33/242	110	6	104
34/242	162	25	137
36/242	181	20	161
37/242			
38/242	155	19	136
39/242	160	8	152
40/242	160	30	130
41/242	97	30	67
42/242	94	25	69
43/242	140	18	122
44/242	131	18	113
45/242	182	6	176
46/242	211	9	202
47/242	111	10	101
48/242	184	8	176
49/242	69	4	65
50/242	171	16	155
51/242	93	10	83
1/251	120	5	115
3/251	185	15	170
4/251		20	-20
6/251	196	5	191
7/251	179	10	169
9/251	157		

Nº	Cota	NHE (m)	Cota Água
10/251		30	
11/251	191	10	181
12/251	108		
13/251	202		
14/251	158	15	143
15/251	206	25	181
16/251	240	40	200
1/252	139	7	132
2/252	155	20	135
3/252	236		
6/252	231	40	191
7/252	680		
8/252	209	40	169
9/252	150	22	128
10/252	593	85	508
11/252	540	5	535
13/252	147	6	141
14/252	191	50	141

Carta Militar nº 241

Caudal Específico: $q = Q/sp$ (sp = NHD-NHE)

Nº	Q (l/s)	NHE (m)	NHD (m)	sp	q (l/s m)
1/241	20.00	20.00	25.00	5.00	4.000
2/241	4.00	20.00	35.00	15.00	0.267
3/241	4.00	20.00	35.00	15.00	0.267
4/241	2.00	10.00	40.00	30.00	0.067
5/241	1.50	20.00	80.00	60.00	0.025
6/241	5.00	10.00	20.00	10.00	0.500
7/241	1.60	30.00	60.00	30.00	0.053
8/241	1.50	10.00	40.00	30.00	0.050
9/241	2.00	10.00	40.00	30.00	0.067
10/241	2.00	10.00	40.00	30.00	0.067
11/241	3.00	5.00	30.00	25.00	0.120
12/241	3.00	30.00	80.00	50.00	0.060
13/241	3.00	20.00	50.00	30.00	0.100
14/241	1.10	20.00	50.00	30.00	0.037
15/241	0.70	50.00	60.00	10.00	0.070
16/241	0.50	20.00	80.00	60.00	0.008
17/241	1.50	10.00	40.00	30.00	0.050
18/241	1.50	20.00	50.00	30.00	0.050
19/241	0.80	15.00	60.00	45.00	0.018
20/241				0.00	
21/241				0.00	
22/241				0.00	
23/241				0.00	
24/241				0.00	
25/241				0.00	
26/241				0.00	
27/241				0.00	
28/241				0.00	
29/241	1.11	15.00	35.00	20.00	0.056
30/241	1.11	5.00	20.00	15.00	0.074
31/241	1.11	15.00	35.00	20.00	0.056
32/241	1.38	20.00	75.00	55.00	0.025
33/241	0.41	35.00		35.00	0.012
34/241	2.22	20.00	75.00	55.00	0.040
35/241	2.50	5.00	60.00	55.00	0.045
36/241	2.77	9.00	65.00	56.00	0.049
37/241	2.22	9.00	65.00	56.00	0.040
38/241	0.80	30.00	70.00	40.00	0.020
39/241	1.38	30.00	90.00	60.00	0.023
40/241				0.00	
41/241	0.55	20.00	130.00	110.00	0.005
42/241	2.20	10.00	20.00	10.00	0.220
43/241	1.39	80.00	100.00	20.00	0.070
44/241	8.00	60.00		60.00	0.133
46/241	3.30			0.00	
47/241	8.00	40.00	60.00	20.00	0.400
48/241	0.75	22.00	51.00	29.00	0.026
51/241	2.75	30.00	60.00	30.00	0.092

Nº	Q (l/s)	NHE (m)	NHD (m)	sp	q (l/s m)
52/241	2.36	17.00	40.00	23.00	0.103
53/241	2,6			0.00	
54/241	2.80	12.00	45.00	33.00	0.085
55/241	1.66			0.00	
56/241	2.77	22.00	42.00	20.00	0.139
58/241	1.00	70.00	85.00	15.00	0.067
59/241	3.50	30.00	64.00	34.00	0.103
60/241	3.00	24.00	50.00	26.00	0.115
61/241	1.00	70.00	85.00	15.00	0.067
62/241	5m3/h			0.00	
63/241	9m3 /h			0.00	
64/241	1.60	11.00		11.00	0.145
65/241	1.40	30.00	43.00	13.00	0.108
66/241	1.90	16.00	31.00	15.00	0.127
67/241	1.00	43.00	85.00	42.00	0.024
68/241	3.00	8.50	13.00	4.50	0.667
69/241	1.50	50.00		50.00	0.030
71/241	0.90	75.00	88.00	13.00	0.069
72/241	1.00	31.00	49.00	18.00	0.056
73/241	1.00	25.00	48.00	23.00	0.043
75/241	3.50	40.00	158.00	118.00	0.030
76/241	0.50	38.00	92.00	54.00	0.009
77/241	5.50	30.00	79.00	49.00	0.112
78/241	0.25	50.00	97.00	47.00	0.005
79/241	0.70	24.00	105.00	81.00	0.009
81/241	0.83	12.00	17.00	5.00	0.166
83/241	0.60	55.90	96.00	40.10	0.015
84/241				0.00	
85/241	2.00	63.15	65.67	2.52	0.794
86/241	15.00	2.70	5.35	2.65	5.660
87/241	1.00	70.00	80.50	10.50	0.095
88/241	50.00	2.78	4.21	1.43	34.965
89/241	50.00	3.35	4.52	1.17	42.735
93/241	44.50	1.65	8.62	6.97	6.385
94/241	25.20	2.85	7.70	4.85	5.196
95/241	22.30	1.25	8.33	7.08	3.150
96/241	50.00	3.66	6.50	2.84	17.606
97/241	40.00		5.50	5.50	7.273
98/241	44.00	2.65	5.85	3.20	13.750
99/241	44.00	3.00	6.58	3.58	12.291
111/241	0.55	50.00	97.00	47.00	0.012
114/241	1.70	50.00	82.00	32.00	0.053
115/241	1.70	50.00	82.00	32.00	0.053
116/241	1.60	22.00	48.00	26.00	0.062
118/241	*****	2.3+	0.3+		
124/241	2.5	15.00	60.00	45.00	0.056

Carta Militar nº 242

Caudal Específico: q =Q/sp (sp = NH- NHE

Nº	Q (l/s)	NHE (m)	NHD (m)	sp	q (l/s m)
1/242	10.00	14.00	25.00	11.00	0.909
2/242	3.00	16.00	30.00	14.00	0.214
3/242	5.00	25.00	62.00	37.00	0.135
4/242	2.00	15.00	50.00	35.00	0.057
5/242	7.00	17.00	25.00	8.00	0.875
6/242	2.00	20.00	45.00	25.00	0.080
8/242	7.00	3.00	20.00	17.00	0.412
10/242	3.00	30.00	80.00	50.00	0.060
11/242	5.00	30.00	40.00	10.00	0.500
12/242	10.00	0.00	5.00	5.00	2.000
13/242	1.50	10.00	50.00	40.00	0.038
14/242	1.50	15.00	20.00	5.00	0.300
15/242	1.00	10.00	50.00	40.00	0.025
16/242	3.00	30.00	60.00	30.00	0.100
17/242	1.50	20.00	80.00	60.00	0.025
18/242	3.00	10.00	40.00	30.00	0.100
20/242	2.00	15.00	20.00	5.00	0.400
21/242	3.50	30.00	100.00	70.00	0.050
22/242	4.50	30.00	100.00	70.00	0.064
23/242	2.20	0.00	10.00	10.00	0.220
24/242	1.50	20.00	70.00	50.00	0.030
25/242	1.50	15.00	40.00	25.00	0.060
27/242				0.00	
28/242				0.00	
29/242				0.00	
30/242	0.83	1.00	42.00	41.00	0.020
31/242	2.08	15.00	44.00	29.00	0.072
32/242	2.22	20.00	90.00	70.00	0.032
33/242	2.70	6.00	130.00	124.00	0.022
34/242	0.83	25.00	135.00	110.00	0.008
36/242	1.00	20.00	60.00	40.00	0.025
37/242	1.94			0.00	
38/242	1.00	19	33	14	0.071
39/242	4	8	33	25	0.160
40/242	0.65	30	101	71	0.009
41/242	1.3	30	72	42	0.031
42/242	1.3	25	68	43	0.030
43/242	2	18	75	57	0.035
44/242	3.5	18	45	27	0.130
45/242	3.5	6	30	24	0.146
46/242	3.6	9	40	31	0.116
47/242	2.00	10	40	30	0.067
48/242	1.1	8	33	25	0.044
49/242	5.5	4	35	31	0.177
50/242	0.5	16	30	14	0.036
51/242	2.5	10	65	55	0.045

Carta Militar nº 251

Caudal Específico: q =Q/sp (sp = NHD-NH

Nº	Q (l/s)	NHE (m)	NHD (m)	sp	q (l/s m)
1/251	10.00	5.00	15.00	10.00	1.000
3/251	11.00	15.00	25.00	10.00	1.100
4/251	2.50	20.00	60.00	40.00	0.063
6/251	2.00	5.00	30.00	25.00	0.080
7/251	1.10	10.00	30.00	20.00	0.055
9/251				0.00	
10/251	1.25	30.00	90.00	60.00	0.021
11/251	1.30	10.00	21.00	11.00	0.118
12/251				0.00	
13/251				0.00	
14/251	1.66	15.00	45.00	30.00	0.055
15/251	2.77	25.00	75.00	50.00	0.055
16/251	1.10	40.00	80.00	40.00	0.028

Carta Milita nº 252

Cauda Específico: q =Q/sp (sp = NHD-NHE)

Nº	Q (l/s)	NHE (m)	NHD (m)	sp	q (l/s m)
1/252	1.50	7.00	30.00	23.00	0.065
2/252	0.50	20.00	90.00	70.00	0.007
3/252				0.00	
6/252	0.70	40.00	70.00	30.00	0.023
7/252				0.00	
8/252	1.60	40.00	80.00	40.00	0.040
9/252	1.66	22.00	80.00	58.00	0.029
10/252	0.27	85.00			
11/252	0.75	5.00	40.00	35.00	0.021
13/252	1.50	6.00	15.00	9.00	0.167
14/252	1.30	50.00	105.00	55.00	0.024

Anexo 15: Caudais Específicos por ordem decrescente.

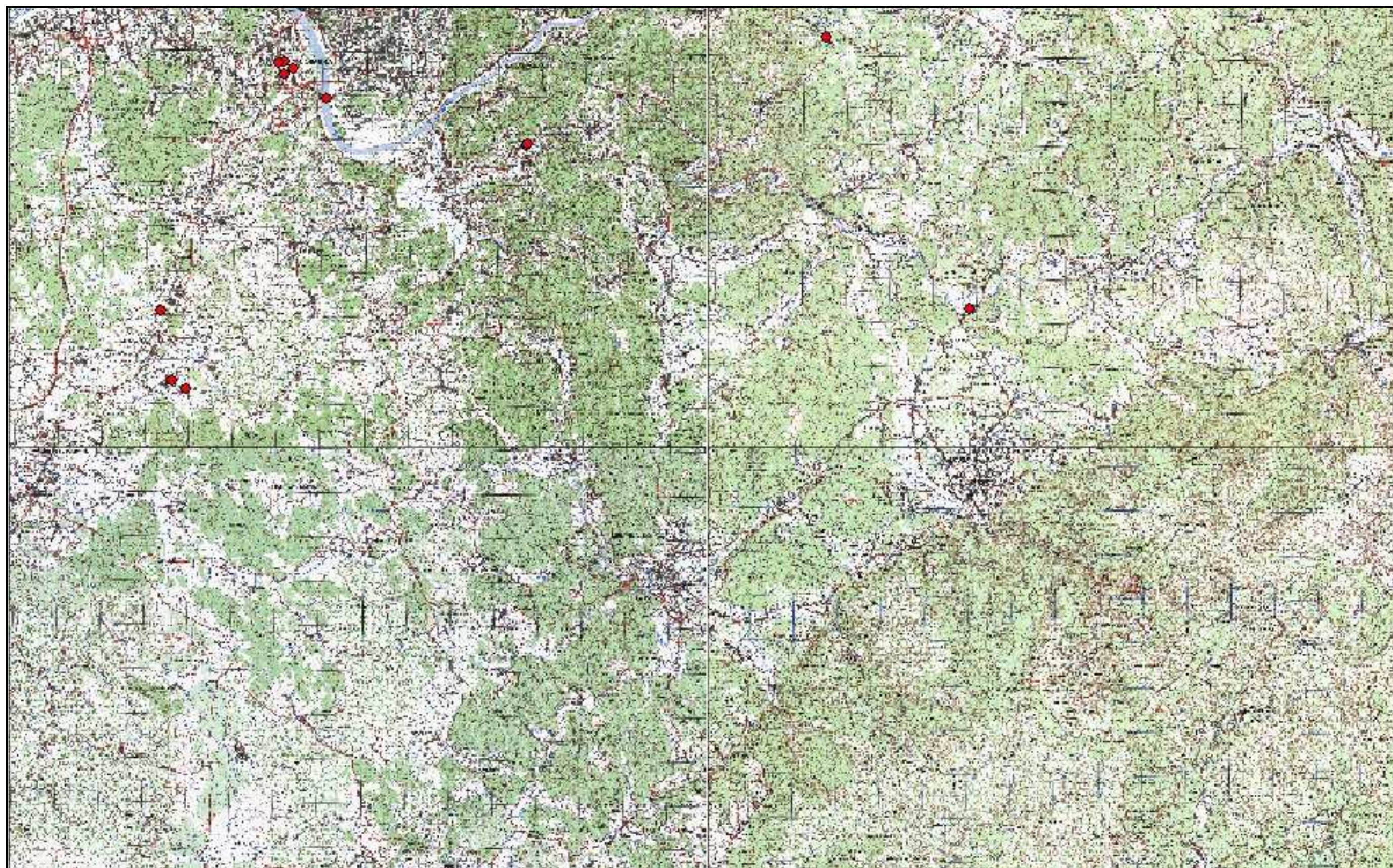
Nº	q (l/s m)	Litologia
89/241	42.735	Areia; Grés
88/241	34.965	Areia; Grés
96/241	17.606	Areia Fina; Areia e Seixo c/ calhaus; Grés
98/241	13.750	Areia Grossa; Areão Solto; Silte; Argila; Xisto
99/241	12.291	Areia Grossa; Xisto
97/241	7.273	Areia e Seixo c calhaus
93/241	6.385	Areia e Seixo c/ calhaus; Grossos
86/241	5.660	Argila; Areia c/ Seixo; Grés e Marga
94/241	5.196	Areia Amarela; Argila; Grés
1/241	4.000	Argila; Areia Fina; Argila; Areia Grossa
95/241	3.150	Areia; Grés; Argila
12/242	2.000	Argila; Saibro; Argila c/Calhau
3/251	1.100	Argila; Calcário
1/251	1.000	Xisto; Areia
1/242	0.909	Argila c/ calhau; Xisto Escuros
5/242	0.875	Argila c/ calhau; Xisto Escuros
85/241	0.794	Argila; Margas; Calcários
68/241	0.667	Areia; Grés; Argila
6/241	0.500	Argila; Saibro; Calcário
11/242	0.500	Argila c/ calhau; Xisto Escuros
8/242	0.412	Argila c /calhau; Xisto Escuros
47/241	0.400	Areia c/ Calhau; Argila; Areia; Arenito
20/242	0.400	Cascalho; Xisto
14/242	0.300	Xisto
2/241	0.267	Xisto Claros; Xisto Escuros
3/241	0.267	Xisto Claros; Xisto Escuros
42/241	0.220	Argila; Calcário
23/242	0.220	Xisto
2/242	0.214	Argila; Saibro; Argila; Saibro; Xisto Escuro
49/242	0.177	Conglomerado; Xisto; Quartzo; Xisto
13/252	0.167	Grés; Xisto
81/241	0.166	Grés Argiloso; Argilas; Grés
39/242	0.160	Xisto Cinzento Intercalado c/ Quartzitos
45/242	0.146	Xisto Cinzento Intercalado c/ Quartzitos
64/241	0.145	Calcário; Marga; Grés
56/241	0.139	
3/242	0.135	Argila c/ calhau; Xisto Escuros
26/242	0.135	Cascalho; Calcário
44/241	0.133	Marga; Calcário Acinzentado
44/242	0.130	Xisto Cinzentado Intercalado c/ Quartzitos
66/241	0.127	Calcários e argilas
11/241	0.120	Calcário
11/251	0.118	Arenitos; Calcários
46/242	0.116	Xisto Cinzentados Intercalados c/ Quartzitos
60/241	0.115	Argilas e Calcários
77/241	0.112	Margas; Calcários; Argilas
65/241	0.108	Calcários e argilas
52/241	0.103	Areão Argiloso; Argila; Areia Grossa ; Argila
59/241	0.103	Calcários e argilas
13/241	0.100	Calcário
16/242	0.100	Calcário
18/242	0.100	Arenitos
87/241	0.095	Argila;Margas;Grés
51/241	0.092	Calcários Margoso; Calcários
54/241	0.085	Calcário e argila
6/242	0.080	Xistos; Xistos Escuro
6/251	0.080	Calcário
30/241	0.074	Xistos
31/242	0.072	Arenitos, Xisto
38/242	0.071	Xisto Cinzento
15/241	0.070	Saibro; Calcário
43/241	0.070	Saibro; Argila Vermelho; Areia Fino; Calcário;
71/241	0.069	Arenitos
4/241	0.067	Argila; Grés; Argila c/ Calhau; Xisto Escuro
9/241	0.067	Calcário
10/241	0.067	Calcário
58/241	0.067	Calcários c Argila
61/241	0.067	Calcários c Arglia
47/242	0.067	Xisto c Filões Quartzo

Nº	q (l/s m)	Litologia
1/252	0.065	Areia
22/242	0.064	Areia; Xisto
4/251	0.063	Saibro; Calcário; Seixo Grosso; Saibro; Seixo Grosso; Argila
116/241	0.062	Calcários e argilas
10/242	0.060	Xisto Claros; Xisto Escuros
25/242	0.060	Cascalho; Xistos
29/241	0.056	Calcário
31/241	0.056	
72/241	0.056	Arenitos
124/241	0.056	Calcário
7/251	0.055	Xisto
15/251	0.055	Calcário
14/251	0.055	Argila; Areia Fina;Argila Arenosa
7/241	0.053	Calcários; Argilas
114/241	0.053	Grés
115/241	0.053	Grés Avermelhado
8/241	0.050	Xisto
17/241	0.050	Arenitos Vermelhos
18/241	0.050	Saibro; Areia Grossa; Saibro
21/242	0.050	Cascalho, Saibro; Areia, Xisto
36/241	0.049	Calcário Dolomítico; Calcário
35/241	0.045	Calcário Dolomítico; Calcário
51/242	0.045	Xisto
48/242	0.044	Calcários Margosos
73/241	0.043	Argilas e Calcários
34/241	0.040	Calcário Dolomítico; Calcário; Margoso
37/241	0.040	Calcário Dolomítico; Calcário
8/252	0.040	Areias;Xisto
13/242	0.038	Xisto
14/241	0.037	Calcário
50/242	0.036	Grés Argiloso; Xisto
43/242	0.035	Xisto Cinzento Intercalado c/ quartzitos
32/242	0.032	Xisto
41/242	0.031	Argila e Xistos
42/242	0.030	Argila e Xistos
69/241	0.030	MgVerm;GrAcinz;Mg;Gr
75/241	0.030	Xisto e Quartzo
24/242	0.030	Saibro; Xistos
9/252	0.029	Areias
16/251	0.028	Calcário; Arenitos; Calcário
48/241	0.026	Calcários e argilas
5/241	0.025	Calcário; Calcário Amarelo; Calcário; Calcário Amarelo
32/241	0.025	Arenitos
15/242	0.025	Calcário; Argila
17/242	0.025	Saibro; Xisto
36/242	0.025	
67/241	0.024	Grés; Argilas e Calcários
14/252	0.024	Grés; Xisto
39/241	0.023	Xisto Cinzento
6/252	0.023	Arenito; Granito
33/242	0.022	Xisto
10/251	0.021	Xisto
11/252	0.021	Xisto Amarelo; Xisto Negro
38/241	0.020	Xisto Amarelo; Xisto Negro
30/242	0.020	Arenitos; Xisto
19/241	0.018	Arenito Vermelhos
83/241	0.015	Grés; Argila
33/241	0.012	Xisto mt. Alterado; Xisto
111/241	0.012	Argila e Calcários
76/241	0.009	Xisto e Quartzo
79/241	0.009	Xisto e Quartzo
40/242	0.009	Saibro; Xisto
16/241	0.008	Saibro; Cascalho; Areia
34/242	0.008	Xisto
2/252	0.007	Xisto
41/241	0.005	ArSolta;Calário Margoso; Areia
78/241	0.005	Xisto e Quartzo
20/241	0.000	Seixo Rolço; Argila e Seixo Múdo

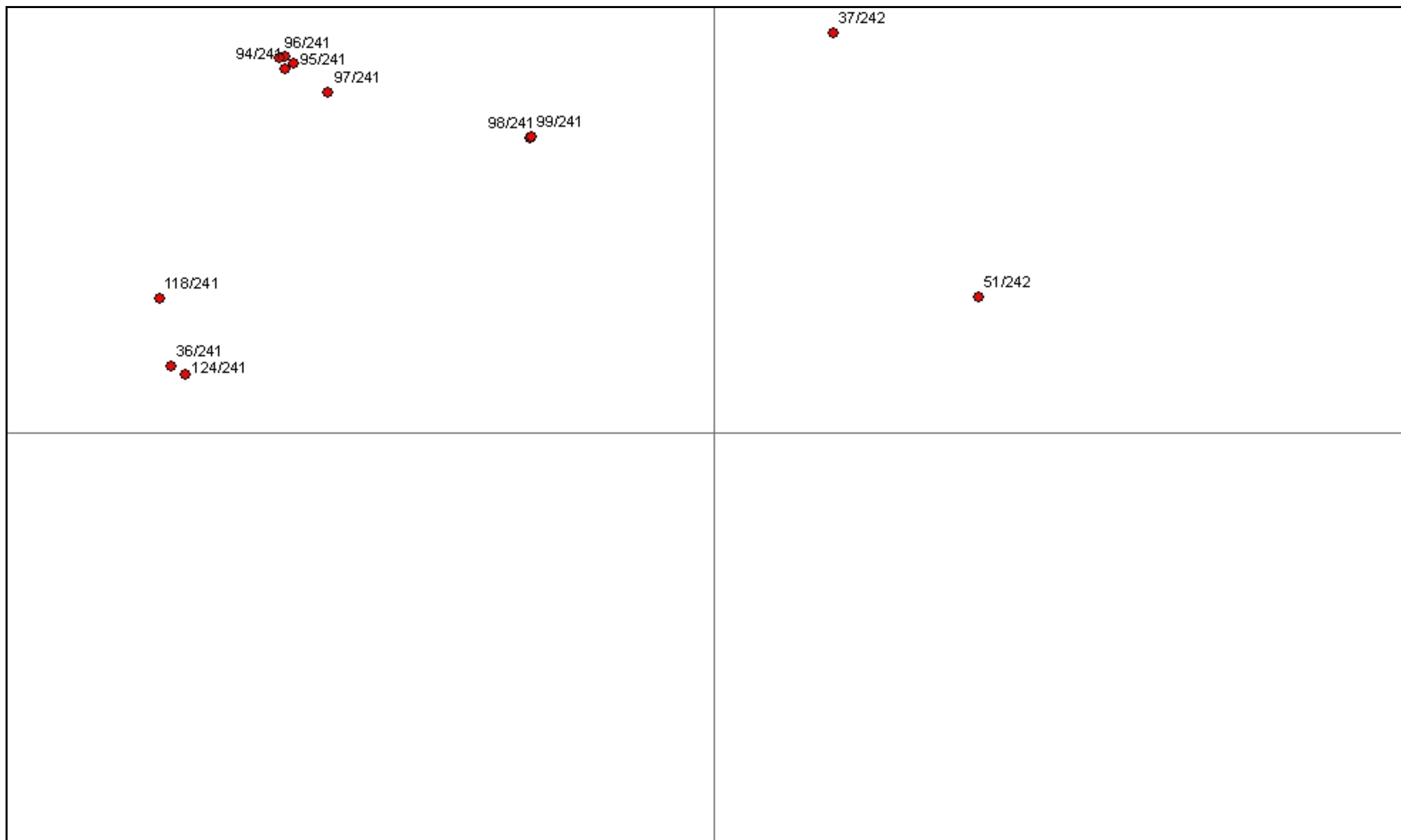
		Cons. Hum.		Rega		Nº 36/241	Nº 93/241	Nº 94/241	Nº 95/241	Nº 96/241	Nº 97/241	Nº 98/241	Nº 99/241	Nº 118/241	Nº 124/241	Nº 37/242	Nº 51/242
		VMR	VMA	VMR	VMA												
C. Org e Físicos	Cor (mg/l)	1	20				Incolor	Incolor	Incolor	Incolor	Incolor	Incolor	Incolor	Incolor			
	Cheiro	0	2;3				Inodora	Inodora	Inodora	Inodora	Inodora	Inodora	Inodora	Inodora			
	Turvação (mg/l)	1	10				Límpida	Límpida	Límpida	Límpida	Límpida	Límpida	Límpida	Límpida			
	Condutividade (µS/cm a °)	400	---			660a16,6	1.9a20º	56a20º	108a20º	185,7a20º	184a20º	94,0a20º	99,2a20º		995a18,6º	29a21º	351a23,4
	PH (a °)	6,5-8,5	9,5	6,5-8,4	4,5-9,0	7,91a16,6	6,5	6,3	6,1	6,5	6,35	6,4	7,2	7.4	6,93a18,5	8,6a21º	6,42a23,4
C. Agressiv/	T (°C)		12º;25º			16,6									18,6	19,2	23,4
	PH (a °)																
	CO ₂ livre (mg/dm3)																
	Alc (HCO ₃)(mg/dm3)																
C. Equil/	T (°C)																
	PH (a °)																
	CO ₂ livre (mg/dm3)											13	5				
	Alc (HCO ₃)(mg/dm3)																
Caracteres Químicos	Cálcio (Ca) (meq/l; mg/l)	100	---				0,30;6,6	0,18;3,6	0,35;7,0	0,43;9,0	0,64;12,8	0,17;3,3	0,16;3,3	4.0;80.16			
	Magnésio (Mg) (meq/l; mg/l)	30	50	0,20	10		0,30;4,6	0,18;2,2	0,45;5,8	0,46;3,0	0,57;7,0	0,33;4,0	0,11;1,3	1.48;18.00			
	Ferro Total (Fe) (meq/l; mg/l)	50	200	5,0	---		0,01;0,3	0,01;0,4	0,02;0,4	0,004;0,2	0,002;0,08	dirc/n ac.	n acusa	****			
	Manganês (Mn) (meq/l; mg/l)	20	50							****	****	****	****				
	Sódio (Na) (meq/l; mg/l)	20	150							****	****	****	****	3.01;69.20			
	Alumínio (Al+++)(mg/l)	0,05	0,2	5,0	20					****	****	****	****				
	Amónio (NH ₄ +) (meq/l; mg/l)	0,05	0,5							****	****	****	****	****			
	Bicarbonatos (HCO ₃)(meq/l; mg/l)						0,5;30,5	0,30;18,3	0,4;24,4	0,7;42,7	1,0;61,0	0,40;24,4	0,3;21,4	5.4;329.40			
	Sulfatos (SO ₄) (meq/l; mg/l)	25	250	575	---		0,1;7,0	0,13;6,6	0,1;6,1	0,2;11,3	0,2;9,3	0,12;5,6	0,21;10,1	0.3;17.95			
	Cloretos (Cl) (meq/l; mg/l)	25	---	70	---		0,9;32	0,35;12,4	0,7;23	0,9;32	1,1;39,1	0,40;14,2	0,4 ;14,2	2.70;21.30			
	Nitritos (NO ₂) (meq/l; mg/l)	---	0,1				n acusa	n acusa	n acusa	n acusa	n acusa	n acusa	n acusa	Negativo			
	Nitratos (NO ₃) (meq/l; mg/l)	25	50	50			0,02;1,3	0,20;1,3	0,04;2,7	0,09;5,5	0,04;2,7	0,01;0,7	0,03;1,8	Vestígios			
	CO ₂ livre (mg/l)						12,5	6	7	17	39			24.47			
	O ₂ livre (mg/l)	2	5											****			
	O2 Consumido KMnO4 (mg/l)MO						0,7	1,6	2	1	1,3	1,0	2,3	0.32			
	Floureto (F) (meq/l; mg/l)													0.19;0.01			
	Azoto Orgânico (mg/l)											****	****				
	Sílica (SO ₂) (mg/l)	---	----									****	****	14.4			
	Dureza Total (meq/l; °F)	---	500				0,60;3,4	0,36;1,8	0,8;4	0,92;4,6	1,28;6,4	0,50;2,5	0,48;2,4				
	Dureza Carbonatada (meq/l; °F)						****	****	****	****		****	****	27.4 Fº			
	Dureza N Carbonatada (meq/l; °F)						****	****	****	****		****	****				
	Alcalinidade (M.O.) (meq/l; °F)						0,8;2,5	0,30;1,5	0,4;2	0,7;3,5	1,0;0,5	0,40;2,0	0,34;1,7	54			
	Alcalinidade (P.) (meq/l; °F)											****	****				
	Resíduo Seco a 180°C (mg/l)													337			
	Resist. Eléct. A 25°C(ohms.com)													1.818,2			

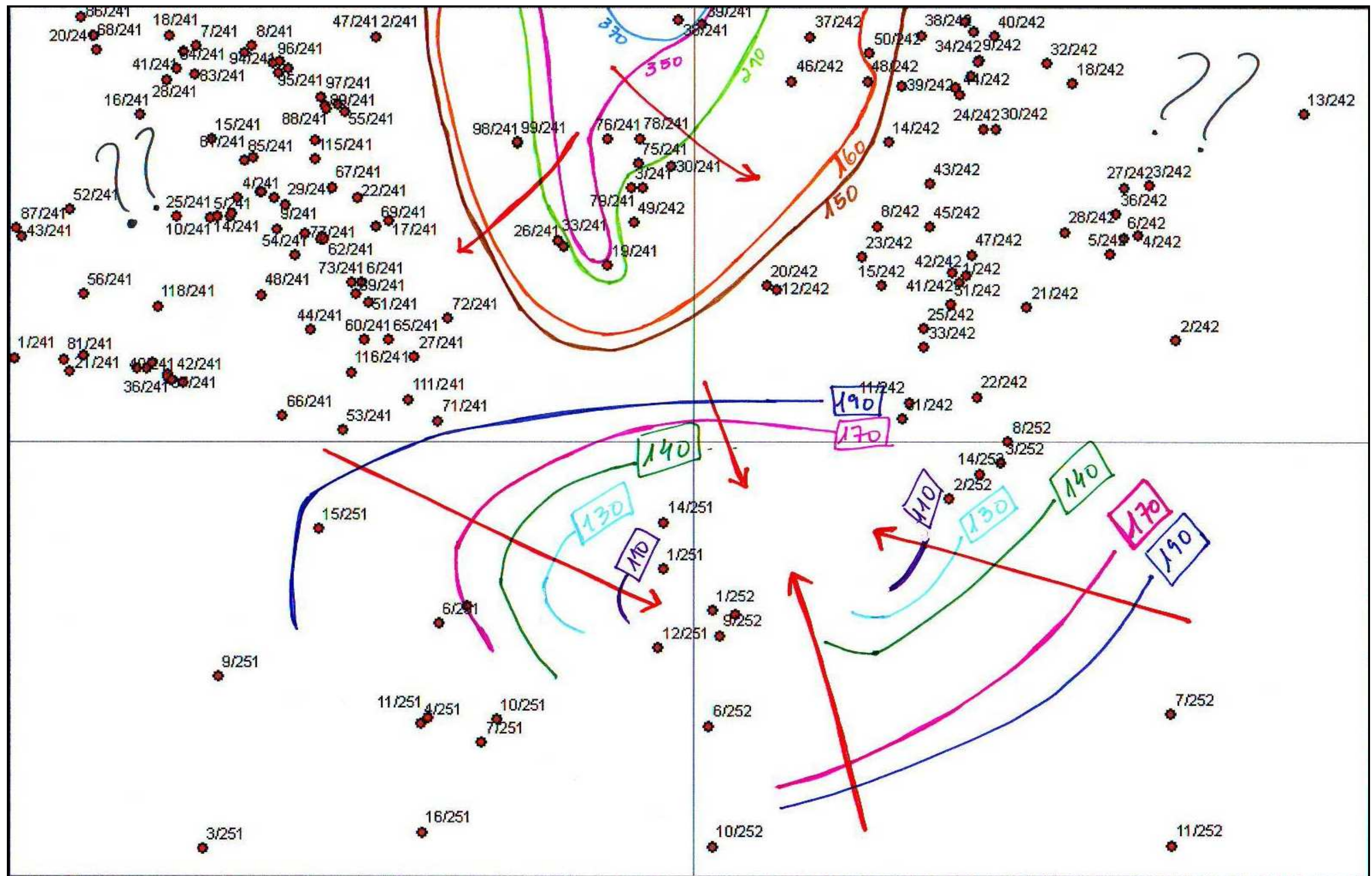
Anexo 17: Localização dos Furos que têm análise de águas.

XX



Anexo 18: Cartograma da localização dos Furos que têm análise de águas.





REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, A. C. & Soares, A. F. & Cunha, L. M., J. P. (1990) – “ Proémio ao estudo do Baixo Mondego”.
- Almeida, C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R. e Gomes, A.J. (2000) – “Actualização do Inventário dos sistemas aquíferos de Portugal Continental”. Centro de Geologia da FCL e Instituto da Água.
- Andrade, I. A. S. S. (2004) – “ Hidroquímica e Caracterização da Contaminação Hídrica nos corpos aluvionares do Mondego entre Coimbra e Montemor-o-Velho”.
- Azevedo, J.M. (1998) – Geologia e Hidrogeologia da Ilha das flores (Açores-Portugal), Teses de Doutoramento, Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 1º e 2º Vol..
- Azevedo, J.M. (2001) – Textos de Apoio, Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Barbosa, B. P. & Soares, A. F. & Rocha, R.B. & Manuppella G. & Henriques, M. H. (1988) – Notícia Explicativa da Folha 19A – Cantanhede Serviços Geológicos de Portugal.
- Carvalho, G. S. – “A Geologia do Baixo Mondego nos Arredores de Coimbra”.
- Carvalho, G. S. (1950) – Considerações sobre a estratigrafia das formações mais antigas da Orla-Meso-Cenozóica Ocidental de Portugal. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra.
- Castany, G. (1982) – Principes et methods de l’hydrogéologie. Dunod
- CCDRC, (1988) – Programa de desenvolvimento da região Centro. Vol 1. Comissão de Coordenação da Região Centro Minist. Plan. e Adm. do Território, Coimbra.
- Coelho, M.H.C. (1997) – O Baixo Mondego – Um pouco de historio. Cadernos de Geografia.
- Correia, C. A. G – Influência da Temperatura no escoamento em meios fracturados.
- Costa, Joaquim B. – Estudo e Classificação das Rochas por Exame Macroscópico – Fundação Calouste Gulbenkian - 11ª edição
- Clesceri, L.S., Greenberg, A.E. e Eaton, A.D. (1998) – Standard Methods for the examination of water and waste water. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. United Book Press Inc, 20th ed.

Contributo para o estudo hidrogeológico da carta geológica 19-D Coimbra - Lousã

- Cunha, L. & Soares, A. F. & Tavares, A. & Marques, J. F. (1996) – O “Julgamento” Geomorfológico de Coimbra. O testemunho dos depósitos quaternários. Actas do I Colóquio de Geografia de Coimbra. Nº Especial de “Cadernos de Geografia”.
- Custódio, Emílio & Llamas, Manuel Ramón (1983) – Hidrologia Subterrânea – Ediciones Ómega. 1 Vol.
- Custódio, Emílio & Llamas, Manuel Ramón (1983) – Hidrologia Subterrânea – Ediciones Ómega. 2 Vol.
- Daveau, S. (1977) – Repartition et rythme des précipitations au Portugal. Memória do Centro de Estudos Geográficos Universidade de Coimbra. Nº3.
- Delleur, J. W. (1999) – The Handbook of Groundwater Engineering, CRC Press, Springer Verlag, Germany.
- Deustsch, W.L. (1997) Groundwater geochemistry. Lewis Publishers.
- Drever, J.I. (1997) - The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments.
- Feitosa, F. A. C. & FILHO, J.M. (2000) – Hidrogeologia Conceitos e Aplicações – 2ª edição, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza.
- Ferreira, J. P. C. L., Oliveira, M. M. & Moinante, M. J. (1995) – Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas de Portugal, vol. II, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica, Grupo de Investigação de Águas Subterrâneas, Lisboa.
- Feth, J. H. (1981) – Chloride in natural continental water – A review U.S. Geological Survey Water.
- Fetter, C.W. (1994) – Applied hydrogeology. Prentice- Hall Inc. 3ª ed.
- Freeze, R.A. e Cherry, J.A (1979) – Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. New Jersey.
- Hem, J.D. (1985) – Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geological Survey Water-supply.
- Hitchon, B., Perkins, E.H. e Gunter, W.D. (1999) – Introduction to Ground Water Geochemistry. Geoscience Publishing Ltd.
- Ingenium (11/12-2007). Alterações Climática.
- Lencastre, Armando & Franco, F. M. (2006) – Lições de Hidrologia, Fundação FCT.
- Matthess, G. (1982) – The properties of groundwater. John Wiley & Sons.
- Mendes, H.C.V.S.P.M.A. (1997) – Estudo bio-hidráulico de canais de drenagem na região do baixo Mondego. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.

- Mendonça, J. L. e Dias, J.L.F. (2000) – Sistemas aquíferos aluvionares na bacia de hidrográfica do rio Mondego. Recursos Hídricos.
- Morais, J. Custódio (1950) – Geohidrologia da Região de Coimbra.
- Oliveira, M.J.P.M. (2004) – “Recarga de águas subterrâneas. Métodos de avaliação”. Dissertação submetida à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia (Hidrogeologia). Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Peixinho e Cristo, F. (1998) – Águas subterrâneas no Baixo Mondego. in: Projecto Praxis XXI 2/2.1/CTA – 156/94 – O baixo Mondego: organização, geossistémica e recursos naturais.
- Ramos, Anabela Martins (2000) – Organização e significado dos depósitos mais recentes da zona vestibular do Rio Mondego.
- Ribeiro, O. (1998) – Portugal, o Mediterrâneo e o Atlântico. Livraria Sá e Costa. 7ª ed.
- Rocha, R. & Manuppella G. & Mouterde, R. & Ruget, C. & Zbyszewski, G (1981) – Notícia Explicativa da Folha 19C – Figueira da Foz. Carta Geológica de Portugal na escala 1/ 50 000.
- Rodrigues, A.; Ribeiro, A. e Dias, J.A. (1995) – “Estruturas activas na plataforma continental setentrional: resultados do projecto SISMAR. IV Congr. Nac. Geologia (resumos alargados)”. Univ. Porto – Fac. Ciências, Mus. Lab. Min. E Geológico, Memória, Porto.
- Rola, A. I. S. (2006) – Ensino das Geociências na Perspectiva CTS – Elaboração de Materiais de Apoio. A Bacia do Mondego. Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.
- Seminário, (1997) – O Baixo Mondego. Organização Geossistémica e recursos naturais. Praxis XXI - Projecto 2/2.1/CTA-156/94.
- Silva, S. M. R. (2003) – A Região de Penacova como Espaço Didáctico - Pedagógico da Hidrogeologia. Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.
- Silva, M.J.B.L. (1988) – “ Hidrogeologia do Miocénico do Algarve”. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia na especialidade de Hidrogeologia.
- Silva, A.V., Portugal L., A. e Freitas, L. (1986) – “Modelo de fluxo subterrâneo e salinização dos aquíferos costeiros entre Faro e Fuzeta”. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal.
- Soares, A. F. & Marques, J. F. & Rocha, R. B. (1985) – Contribuição para o Conhecimento Geológico de Coimbra. Memórias e Notícias.

Contributo para o estudo hidrogeológico da carta geológica 19-D Coimbra - Lousã

Soares, A. F. – Apontamentos sobre a Geologia de Coimbra. Centro de Geociências. Universidade de Coimbra.

Tavares, A. M. de O.S. (1999) – Condicionantes Físicas ao Planeamento. Análise da Susceptibilidade no Espaço do Concelho de Coimbra. Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

Tavares, A.O. (1992) – Cartografia Geotécnica da Zona Sudoeste da Cidade de Coimbra, PAPCC na Universidade de Coimbra. Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

Diário da República:

Decreto de Lei nº 236/98 de 01 de Agosto

Decreto de Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto

Sites

<http://snirh.pt/>

http://www.ufpa.br/ccen/quimica/laboratorio%20de%20qanalmoderna_arquivos/page0002.htm

<http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1lci>

<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/alc.htm>

http://e-geo.ineti.pt/bds/lexico_hidro/lexico.aspx?Termo=Diagrama%20de%20Piper

<http://www.ineti.pt/>